



PROJETO DE GRADUAÇÃO

**OTIMIZAÇÃO DE POLÍTICAS DE ESTOQUES BASEADAS EM
ESTRATÉGIAS (S,S) E (T,S,S) COM SIMULAÇÃO
PARA UMA INDÚSTRIA**

Por,
Vítor Souza Piña
150151799

Brasília, 18 de dezembro de 2023.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**OTIMIZAÇÃO DE POLÍTICAS DE ESTOQUES BASEADAS EM
ESTRATÉGIAS (S,S) E (T,S,S) COM SIMULAÇÃO
PARA UMA INDÚSTRIA**

VÍTOR SOUZA PIÑA

Orientador: PROF. DR. REINALDO CRISPRINIANO GARCIA, PHD, ERP/UNB

PROJETO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PUBLICAÇÃO EPR -
BRASÍLIA-DF, 18 DE DEZEMBRO DE 2023.**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**OTIMIZAÇÃO DE POLÍTICAS DE ESTOQUES BASEADAS EM
ESTRATÉGIAS (S,S) E (T,S,S) COM SIMULAÇÃO
PARA UMA INDÚSTRIA**

VÍTOR SOUZA PIÑA

PROJETO DE GRADUAÇÃO ACADÊMICO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

APROVADA POR:

Prof. Dr. Reinaldo Crispiniano Garcia, PHD, ERP/UnB
Orientador

Prof. Dr. Ari Melo Mariano, ERP/UnB
Examinador interno

BRASÍLIA, 18 DE DEZEMBRO DE 2023.

FICHA CATALOGRÁFICA

VÍTOR SOUZA PIÑA

**OTIMIZAÇÃO DE POLÍTICAS DE ESTOQUES BASEADAS EM ESTRATÉGIAS (s,S)
E (t,s,S) COM SIMULAÇÃO PARA UMA INDÚSTRIA**

2023xv, 67p., 201x297 mm

(EPR/FT/UnB, Bacharel, Engenharia de Produção, 2023)

projeto de Graduação - Universidade de Brasília

Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia de Produção

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VÍTOR SOUZA PIÑA (2023) OTIMIZAÇÃO DE POLÍTICAS DE ESTOQUES BASEADAS EM ESTRATÉGIAS (s,S) E (t,s,S) COM SIMULAÇÃO PARA UMA INDÚSTRIA. projeto de Graduação em Engenharia de Produção, Publicação , Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 67p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Vítor Souza Piña

TÍTULO: OTIMIZAÇÃO DE POLÍTICAS DE ESTOQUES BASEADAS EM ESTRATÉGIAS (s,S) E (t,s,S) COM SIMULAÇÃO PARA UMA INDÚSTRIA.

GRAU: Bacharel ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta projeto de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor se reserva a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta projeto de Graduação pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Vítor Souza Piña

—

Agradecimentos

Agradeço e homenageio, primeiramente, meu falecido avô, José Mendo Mizael de Souza. Sem seus ensinamentos, de me fazem e me tornam quem eu sou hoje. Graças aos nossos longos, porém curtos, 22 anos de convivência, aprendi as maravilhas não só da engenharia, mas também da vida. Agradeço também ao meu pai, Roberto Piña, do qual tenho a honra de carregar seu sobrenome, que me influenciou a seguir o rumo no qual pleiteio, o mesmo grau de engenheiro que ele e meu avô carregam. Me ensinaram não somente o amor pela engenharia, mas também ensinamentos valiosos e demonstrações de amor, as quais espero um dia poder passar para as gerações futuras. À minha mãe, Ana Claudia Piña, que desde sempre foi muito paciente e me forneceu nada além de amor e ensinamentos de vida.

Agradeço também a todos que cruzaram meu caminho e me deram o suporte necessário para que eu pudesse seguir frente, superando todas as dificuldades que me foram postas. Em especial à minha amada irmã, Ana Beatriz, que desde o início da minha vida sempre foi amiga e companheira. Gostaria também de demonstrar minha gratidão àquela que esteve ao meu lado na minha entrada na vida adulta, pois tiveram dias fáceis e difíceis nessa transição, mas eu sei que em todos eles a tive você ao meu lado.

Finalizo o presente agradecimento citando uma poesia, do grande autor brasileiro João Guimarães, em sua obra Grande Sertão Veredas, que meu avô e eu recitamos em seus últimos momentos, nos quais passei por um período conturbado.

“Sentimento que não espairo; pois eu mesmo nem acerto com o mote disso — o que queria e o que não queria, estória sem final. O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem. O que Deus quer é ver a gente aprendendo a ser capaz de ficar alegre a mais, no meio da alegria, e inda mais alegre ainda no meio da tristeza! Só assim de repente, na horinha em que se quer, de propósito — por coragem. Será? Era o que eu às vezes achava. Ao clarear do dia.” ROSA, João Guimarães. Grande Sertão: Veredas, página 293.

Resumo

O ambiente empresarial encontra-se cada vez mais competitivo, por isso torna-se necessário a utilização de métodos e técnicas que visem aumentar a competitividade organizacional. A gestão de estoques de modo eficiente acaba por ser um fator de extrema importância, pois apresenta custos significativos na indústria. O presente estudo utilizou-se dos dados de uma indústria de alto impacto na economia local a cerca de cinco SKU's e alto impacto operacional. Foram elaboradas simulações em Python para dois modelos de políticas de estoques, os modelos (s,S) e (t,s,S), para cada um dos materiais. De posse das simulações foi possível obter as políticas mais otimizadas para cada material, sendo para todos os materiais simulados a política do tipo (t,s,S) com baixa retenção de estoque, elevada quantidade de pedidos de reposição e níveis de s_{min} e S_{max} mais próximos entre si. O resultado encontrado acarretou em uma redução significativa de custos totais e a diminuição da falta de estoque, o que impacta diretamente no resultado organizacional. O projeto demonstra a importância do fomento ao setor industrial local do Distrito Federal e reafirma o impacto positivo da academia na sociedade.

Palavras chave: Estoques, Pesquisa Operacional, Logística e Simulação de sistemas

Abstract

The business environment is increasingly competitive, which is why it is necessary to use methods and techniques that aim to increase organizational competitiveness. Efficient inventory management turns out to be an extremely important factor, as the inventory management operation presents significant costs in the industry. The present study used data from an industry with a high impact on the local economy of around five SKUs and a high operational impact. Python simulations were developed for two inventory policy models, the (s,S) and (t,s,S) models, for each of the materials. With the simulations in hand, it was possible to obtain the most optimized policies for each material, with the type (t,s,S) policy being for all simulated materials with low stock retention, high quantity of replacement orders and levels of s_{min} and S_{max} closest to each other. The result found resulted in a significant reduction in total inventory costs and a reduction in stock outs, which directly impacts the organizational result. The project demonstrates the importance of promoting the local industrial sector in the Federal District and reaffirms the positive impact of academia on society.

Keywords: Inventories, Operational Research, Logistics and Systems simulation

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	4
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	5
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 OBJETIVO GERAL.....	5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.3.3 ESTRUTURA DOS CAPÍTULOS	6
2 REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1 LOGÍSTICA.....	7
2.1.1 A HISTÓRIA DA LOGÍSTICA	7
2.1.2 CONCEITO DE LOGÍSTICA	8
2.2 ESTOQUES	9
2.2.1 CONCEITO DE ESTOQUE	9
2.2.2 CUSTOS DE ESTOQUE	10
2.2.3 MODELOS DE POLÍTICAS DE ESTOQUE	10
2.2.4 QUANTIDADE ECONÔMICA DE PEDIDO.....	12
2.2.5 MODELOS BASEADOS NO NÍVEL DE ESTOQUE.....	13
2.2.6 ESTOQUE DE SEGURANÇA.....	16
2.3 PESQUISA OPERACIONAL.....	17
2.4 SIMULAÇÃO	18
3 METODOLOGIA	21
3.1 EXPLICAÇÃO SOBRE O CAPÍTULO	21
3.1.1 COLETA E ANÁLISE DE DADOS	21
3.1.2 CRIAÇÃO DO ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO E APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO.....	21

3.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS	28
4	COLETA E ANÁLISE DE DADOS	29
4.1	COLETA DOS DADOS	29
4.2	ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DO ALGORITMO	32
4.2.1	ELABORAÇÃO DO ALGORITMO EM PYTHON	32
4.2.2	APLICAÇÃO DO ALGORITMO	35
4.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS	36
	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
	APÊNDICE	50

LISTA DE FIGURAS

2.1	Tipo de demandas e suas classificações Fonte: Silver Apud Ziu- kov (2009)	12
2.2	Demonstração gráfica de como o EOQ se comporta em relação aos custos logísticos. Fonte: Agarwal, 2014	13
2.3	Modelo (s,S) de gestão de estoques. Fonte: financialmanage- mentpro.com	14
2.4	Comportamento do modelo (s,Q) Fonte: Adaptado de Singha (2017)	15
2.5	Política (t,S) Fonte: GHIAN (2003)	16
2.6	Fases de um projeto de pesquisa operacional. Fonte: Pereira (2009)	18
2.7	Algoritmo genérico para projetos de simulação. Fonte: adaptado de Cesar (2005)	20
4.1	Função de custo FTL Fonte: Autor	33
4.2	Função de custo LTL Fonte: Autor	34
4.3	Política atual (s,S) para o material 4. Fonte: Autor	39
4.4	Política otimizada (s,S) para o material 4. Fonte: Autor	40
4.5	Política otimizada (t,s,S) para o material 4. Fonte: Autor	41
4.6	Custos de estoque e custos de pedido ao longo do tempo para o material 4 segundo a política atual da empresa. Fonte: Autor	42
4.7	Custos de estoque e custos de pedido ao longo do tempo para o material 4 segundo a política (s,S) otimizada. Fonte: Autor	43
4.8	Análise de sensibilidade para o material 1. Fonte: Autor	44

LISTA DE TABELAS

2.1	Classificação dos modelos de gerenciamento de estoques Fonte: Adaptado de Mula (2006)	11
4.1	Adptado do relatório exportado pela empresa do consumo de insumos com SKU mascarado Fonte: Autor	30
4.2	Adptado do relatório exportado pela empresa de lead time dos insumos com fornecedor mascarado Fonte: Autor	30
4.3	Distribuição de probabilidade de demandas e lead time de cada material Fonte: Autor.....	31
4.4	Dados úteis para as simulações. Fonte: Autor	32
4.5	Resultado da simulação para política (s,S) para o material 2. Fonte: Autor	35
4.6	Resultado da simulação para política (t,s,S) para o material 2. Fonte: Autor	36
4.7	Política atual com FTL. Fonte: Autor	36
4.8	Comparação da política atual com a (s,S) otimizada. Fonte: Autor	37
4.9	Comparação da política atual com a (t,s,S) otimizada. Fonte: Autor	37
4.10	Comparação da política (s,S) otimizada com (t,s,S) otimizada. Fonte: Autor	38
4.11	Comparação da política (s,S) otimizada com (t,s,S) otimizada. Fonte: Autor	38

1. Introdução

O cenário global atual consiste em um ambiente empresarial cada vez mais integrado e competitivo. Como consequência, as organizações buscam progressivamente a eficiência em todos os processos, métodos e rotinas, ou seja, o melhor rendimento do sistema como um todo. O desperdício dos recursos da instituição, sejam esses financeiros, materiais, humanos e demais, também tem grande impacto na competitividade da empresa, podendo assim impactar negativamente o resultado final da instituição.

O cenário brasileiro passa pelas mesmas pressões observadas no cenário global. Vem crescendo a preocupação das empresas com a otimização das suas operações logísticas, pois elas têm elevado potencial de redução de custos e aumento da competitividade. A partir da década de 90, notou-se um movimento empresarial com a finalidade de investir em tecnologias capazes de otimizar os processos logísticos (VIDAL,2009).

O termo logística, segundo Barker (2005), foi cunhado primeiramente na época de Alexandre, O Grande. É possível observar, através de documentos históricos, registros da utilização de técnicas rudimentares de logística em ambiente militar. Este princípio de logística, como é conhecida atualmente, possuía como finalidade evitar a falta de insumos nas batalhas da mesma maneira que evitavam produzir excessos.

Segundo a Fundação Instituto de Administração (FIA-USP), logística consiste no processo de negócio que engloba o planejamento e o controle acerca do fluxo de produtos, informações e recursos, tendo dentro de seu leque de atividades como transporte, armazenagem, controle de estoque e distribuição. O principal objetivo da logística é garantir que matérias-primas, suprimentos, matérias em processo, produtos acabados e componentes estejam disponíveis quando solicitados. A logística apresenta grande impacto na economia global e local pois, segundo Maiden (2020), o mercado logístico representa 12% do PIB mundial, e segundo Placek (2020), o mercado logístico atingiu a marca de 8,6 trilhões de dólares americanos.

Dentro da logística, encontram-se diversas operações internas das empresas, sendo que a gestão de estoques é uma operação de alto impacto na organização. Estoques consistem em acumulações de matérias-primas, suprimentos, matérias em processo, produtos acabados e componentes. Tais acumulações surgem em vários pontos do processo de produção e canais logísticos da organização (BALLOUT,2001), a depender das especificidades de cada processo e cada empresa. A natureza do estoque se dá pela dissincronia entre a demanda do produto, o tempo de fornecimento de matéria-prima e o atendimento da demanda. Em razão desse desencontro, torna-se necessário que a organização interessada faça uma análise da melhor política de gestão de estoque.

A indústria costuma manter estoques por diversos motivos e em geral podemos agrupar tais motivos em cinco finalidades básicas, sendo elas: (a) segurança; (b) antecipação para épocas e ou situações especiais; (c) fragmentação entre os vários estágios de produção; (d) em trânsito, e (e) cíclicos. Estes motivos fazem com que torne-se necessário a utilização de estoques para permitir economias de escala (MEREDITH APUD FIGUEREDO,2001).

De acordo com Dias (2010), é inegável que uma organização não possa operar sem a presença de estoques, ou de produtos finalizados, ou de matéria-prima ou em alguma etapa intermediária. A gestão desses estoques pode acarretar custos significativos, o que nos leva à conclusão de que um gerenciamento eficaz é necessário, simplesmente devido à sua sensatez econômica.

O principal objetivo da gestão de estoques, conforme destacado por Ballou (2006), é encontrar o equilíbrio entre assegurar um nível de serviço satisfatório ao cliente, ou seja, garantir a disponibilidade dos produtos, e controlar os custos associados à reposição, que estão diretamente relacionados a essa disponibilidade. Como afirmam Slack, Chambers e Johnston (2009), a gestão de estoque desempenha um papel fundamental na reconciliação entre oferta e demanda, pois sua existência é uma resposta à falta de sincronia natural entre esses dois fenômenos.

A abordagem do tipo Make to Stock é uma abordagem de produção antecipada na qual os planos de produção podem ser fundamentados em previsões de vendas e ou histórico de demandas (PARRI,2008). Temos como exemplo empresas do ramo de bebidas, indústrias nas quais o produto final ficará estocado com a finalidade de ser enviada para atacados, mercados e posteriormente ao consumidor final, devido à natureza do padrão de consumo do bem.

A indústria de bebidas desempenha um papel significativo no cenário das

indústrias de transformação. Embora não seja intensiva em mão de obra, em comparação com outros tipos de indústrias, constitui um amplo empregador, gerando dezenas de milhares de empregos em todo o Brasil. No contexto das bebidas não alcoólicas no Brasil, os refrigerantes se destacam, representando 68,1% das vendas totais de bebidas não alcoólicas em volume em 2020, conforme dados do IBGE de 2021. Esse mercado é altamente competitivo devido à grandes marcas globais que influenciam os hábitos de consumo da população (VIANA,2021).

Segundo a Confederação Nacional da Indústria, o setor industrial brasileiro representa aproximadamente 21% do PIB Brasileiro. No contexto do Distrito Federal, foi responsável por aproximadamente 11 bilhões de reais no ano de 2020, o que equivale a aproximadamente 0,7% do PIB nacional. Dentro disto, 3,8% é proveniente do setor de bebidas, resultando em um impacto de 438 milhões de reais gerados para a economia do Distrito.

Uma ferramenta importante para a otimização de operações que vem sendo adotada há bastante tempo é a simulação de testes, cenários da vida real e estratégias de gestão (HILLIER, 2013). Os autores Hillier e Lieberman (2013) definem simulação como a modelagem matemática de uma operação, com suas entradas e saídas, no intuito de obter os dados estatísticos deste processo. Por meio do uso de um ambiente simulado, pode-se aplicar as regras observadas em situações reais, possibilitando análises e conclusões acerca de alternativas de baixo custo e alto impacto dentro de um projeto

Atualmente, com a difusão das linguagens de programação de alto nível e o avanço no poder computacional dos computadores pessoais, tornou-se cada vez mais comum a utilização de simulações computacionais nos ambientes industriais. O presente trabalho tem por finalidade estruturar e analisar diversos algoritmos, que irão gerar simulações acerca de políticas de estoque a fim de selecionar, segundo critérios de economia monetária, a política a ser escolhida.

Neste trabalho trataremos de uma indústria do tipo engarrafadora de alto impacto na economia local e impacto considerável na economia regional. Esta indústria, que utiliza a abordagem de produção Make to Stock, deve-se atentar a uma boa política de estoque visto que estoque trata-se de capital parado. Desse modo, ao se optar por uma política de estoque ineficiente, a organização acabará por desperdiçar recursos financeiros e mão de obra, o que impactará negativamente no lucro. Nesse caso a empresa está reduzindo a capacidade de investimento em novas tecnologias e no aprimoramento de sua capacidade competitiva.

1.1 Justificativa

O princípio econômico dita que os recursos dentro de uma empresa são escassos (Gregory Mankiw, 2019), de modo consequente, as organizações devem sempre optar pela gestão mais otimizada de tais recursos. Dentro dos recursos relevantes para uma instituição, o financeiro é um dos que mais impacta no bom funcionamento das operações empresariais.

O presente momento do mundo empresarial implica na necessidade de um aumento na produtividade e redução de custos, com o auxílio de tecnologias e métodos de alto impacto e baixo custo. Dentro do escopo do engenheiro de produção, possuímos o método de simulação em pesquisa operacional como ferramenta para otimização de processos. O método consiste na utilização de modelagem matemática, juntamente com o poder computacional dos computadores modernos, para identificar gargalos na operação, propor melhorias e avaliar os impactos dessas melhorias sem que haja a necessidade do elevado esforço organizacional para se testar alterações.

Um dos principais monopolizadores de recursos dentro de uma indústria é a logística, que apresenta peso significativo nos custos totais da operação, sendo a etapa essencial para que um produto seja disponibilizado para o cliente. Para que a organização possa ter um retorno rápido, reduzir os custos operacionais e ter uma melhor gestão de recursos em geral, é aconselhado investir em melhorias logísticas (Ballou,2002).

É possível melhorar a logística de uma indústria de forma independente da criação de novas tecnologias, por meio da simulação dos processos utilizados e comparações com estratégias alternativas. Dessa forma, pode-se prever a melhoria a ser obtida de maneira rápida, sem a paralização das atividades da indústria e sem a necessidade de investimento financeiro e de tempo em novas tecnologias.

Em 2020, o Distrito Federal desempenhou um papel significativo ao contribuir com cerca de 11 bilhões de reais, correspondendo a aproximadamente 0,7% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (Confederação Nacional da Indústria, 2020). Esse projeto reforça a importância do incentivo à indústria do Distrito Federal através da parceria academia e sociedade, através da Universidade de Brasília e as indústrias locais.

Desse modo, podemos concluir a importância do presente projeto por duas óticas. Pelo ponto de vista social, a aplicação de conceitos e métodos de simulação em um caso real demonstra o impacto de tal área do conhecimento da

engenharia de produção em um ambiente real, utilizando apenas infraestrutura de baixo custo e zero impacto na operação de controle de estoque. Do ponto de vista acadêmico, o presente projeto pode ser utilizado como estudo de caso para ambientes industriais similares, orientação para futuros projetos e um aumento na literatura existente acerca da simulação aplicada à logística interna e política de estoques.

1.2 Definição do Problema

As organizações industriais apresentam, em diferentes níveis, graus de dificuldade em formular e manter uma boa política de estoque. Dada esta dificuldade, podemos observar fenômenos relacionados a uma política de estoque ineficiente ou inexistente em várias organizações.

O problema tratado no presente trabalho tem como objetivo avaliar dois modelos apresentados no referencial teórico: (s,S) e (t,s,S) , aplicados ao contexto de uma indústria de bebidas. Será utilizada a métrica do custo total de estoque para avaliar qual modelo e qual política melhor se encaixa no contexto da organização.

1.3 Objetivos

Nessa subseção iremos apresentar os objetivos gerais do trabalho assim como os desdobramentos em objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo Geral

O presente estudo tem por objetivo simular diversas opções de política de estoque para dois modelos de tempo discreto, utilizando-se de métodos matemáticos e execução computacional. Por esse meio objetiva-se encontrar a política que apresenta os menores custos logísticos para uma indústria engarrafadora de refrigerantes de alto porte, de elevado impacto na economia local e impacto significativa na economia regional situada em Brasília – Distrito Federal – Brasil.

1.3.2 Objetivos Específicos

A fim de alcançar o objetivo geral, foi necessário dividi-lo em objetivos específicos:

- Compreender os principais fatores de influência no processo de Controle de Estoques;
- Analisar os dados atuais de demanda e Lead Time para cada um dos materiais e suas respectivas políticas de estoque atuais;
- Desenvolver modelos de simulação em Python para otimização das políticas (s,S) e (t,s,S), considerando a minimização dos custos e das potenciais faltas diárias de insumos;
- Aplicação de modelos de entrega do tipo Full Truck Load e Less than Truck Load, considerando a minimização dos custos;
- Analisar os ganhos financeiros ao comparar as políticas ótimas (s,S) e (t,s,S) com as políticas atualmente utilizadas;

1.3.3 Estrutura dos Capítulos

Este trabalho está organizado em seis capítulos, os quais englobam todos os estudos e as análises relacionados ao tema. O primeiro capítulo é a introdução, segmento com a finalidade de contextualizar os principais aspectos do tema abordado. O segundo capítulo apresenta os conceitos fundamentais da logística e da pesquisa operacional, fornecendo a base teórica para o desenvolvimento do modelo de simulação. O terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada no trabalho, detalhando as etapas do processo de desenvolvimento. O quarto capítulo aborda a aplicação dos modelos de simulação, os resultados obtidos e realiza a comparação e discussão dos mesmos. O quinto capítulo oferece considerações finais sobre o tema, explorando também possíveis extensões do trabalho e futuras oportunidades de estudo. Por fim, o sexto capítulo lista as referências bibliográficas que foram utilizadas como suporte na elaboração deste trabalho.

2. Referencial Teórico

O presente capítulo tem como objetivo servir como base teórica para a aplicação do algoritmo de simulação e demais conceitos. O capítulo se inicia apresentando o conceito de logística, sua história e suas subdivisões como conceito de estoques, modelos de políticas de estoque do tipo EOQ e políticas baseadas no nível de estoque, tanto de tempo contínuo quanto de tempo discreto. Por fim, o capítulo apresenta a metodologia teórica de um projeto de simulação segundo a literatura existente, que será apresentada na metodologia e posteriormente aplicada com a coleta dos dados, a execução do algoritmo escrito em Python e análise dos dados.

2.1 Logística

A presente subseção tem como objetivo demonstrar a história da logística e seus principais conceitos técnicos, como logística de suprimentos e logística inbound. Além da definição de logística, também será demonstrada a sua importância para o cenário competitivo atual do mercado.

2.1.1 A História da Logística

Não se sabe ao certo quando surgiu a logística, porém, segundo BARKER (2005), existem registros históricos desde a época de Alexandre, o Grande. Naquela época, utilizavam-se de algumas técnicas para que durante as guerras não houvesse a falta ou excesso de mantimentos e outros suprimentos. Na Grécia antiga o termo “logística” foi cunhado, relacionado com o cálculo e lógica matemática. Isso se dava ao fato de que os militares da época eram os responsáveis pela parte financeira, distribuição de mantimentos e suprimentos em meio as batalhas.

Ching (1999) acredita que até o ano de 1950 as empresas não possuíam uma filosofia dominante para conduzir a logística, pois as empresas dividiam as atividades relacionadas a logística sob diferentes áreas. Para os teóricos da

década de 50 a 70, era necessário ter todas as atividades relacionadas à logística sob a mesma política, pois tais custos eram significativos nos custos totais da operação empresarial.

Na década de 1990, ocorreu uma mudança significativa no cenário competitivo, ultrapassando os limites produtivos individuais das organizações. Nesse período o foco do desempenho empresarial passou a estar nas redes intraorganizacionais, ao invés da prévia noção de centralização de todas as etapas da logística em cada uma das empresas, de forma isolada. Essa transformação se desenvolveu em um contexto globalizado, com aumento da concorrência empresarial e demanda dos consumidores finais por níveis de serviço mais elevados. Foi nesse contexto que surgiu o conceito de logística da cadeia de suprimentos, também conhecido como Supply Chain (FLEURY,2003), possibilitando um melhor atendimento das necessidades dos clientes por meio de parcerias entre organizações.

2.1.2 Conceito de Logística

Logística pode ser primariamente definida como o ato de se planejar e realizar qualquer operação civil ou militar de elevada complexidade (BARKER, 2005). Conforme a definição da Fundação Instituto de Administração (FIA-USP), a logística engloba o processo de negócios que compreende o planejamento e o controle relacionados ao fluxo de produtos, informações e recursos. Suas áreas de atuação abrangem atividades como transporte, armazenamento, gestão de estoques e distribuição.

Segundo Ballout (2006), a logística empresarial consiste no processo de planejar, implantar e controlar o fluxo de mercadorias, serviços e informações de forma eficaz e eficiente. Para o mesmo autor, o Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (GCS), também conhecido como Supply Chain Management (SCM) em inglês, é um termo relativamente recente que captura a essência da logística integrada e vai além dela. Ele se concentra nas interações logísticas que ocorrem entre as funções de marketing, logística e produção dentro de uma empresa, bem como nas interações semelhantes entre empresas legalmente distintas ao longo do canal de fluxo de produtos.

Dentro das diversas atividades que formam a logística, temos a logística interna ou logística inbound, como descrita por Handfield (2002), que refere-se à parte da logística que acontece dentro de uma organização. Devido à

organização de estruturas multinacionais e internacionais em muitos negócios, é comum que a cadeia logística interna tenha conexões que se estendem pelo mundo, tornando, assim, essas cadeias intrínsecas complexas.

Dentro da logística interna encontra-se a logística de suprimentos. Tal área da logística abrange processos de planejamento e controle relacionados à movimentação e armazenamento de matérias-primas e insumos (TOTVS,2022). Dentro da gestão dos suprimentos, engloba-se a política de estoques, tema central para o presente trabalho, suas análises e ramificações.

2.2 Estoques

O presente tópico irá discorrer sobre a definição de estoque, seu impacto na organização e políticas de controle de estoques.

2.2.1 Conceito de Estoque

As demandas ao longo do ano apresentam comportamentos sazonais, fator que se contrapõe à linearidade da produção industrial. Para que a indústria atenda as demandas, é possível adotar algumas estratégias, como a administração da capacidade produtiva do local ou pela utilização de estoques. Os estoques servem sua função em momentos no qual a demanda supera a capacidade produtiva local da empresa. (Peinado, 2004).

Segundo Slack (2002), estoques são definidos como materiais depositados e agregados, provenientes de um sistema produtivo. Segundo o mesmo autor, estoques podem ser vistos como qualquer tipo de recurso armazenado. Estes são vistos como um acúmulo de matérias de diferentes naturezas, como por exemplo matéria-prima, produtos em processamento, produtos semiacabados e produtos prontos que não estão sendo utilizados pela indústria naquele momento, porém, serão utilizados em um momento futuro (Chiavenato, 2005).

Tendo em vista os autores citados, foi demonstrado que estoques consistem em locais físicos de armazenamento de matérias e componentes que não estão sendo utilizados pela organização no momento presente. Tal fenômeno impacta nos resultados da organização pois, além dos custos de estoque, tais ativos representam capital parado da empresa.

2.2.2 Custos de Estoque

Ao se criar uma política de estoques, deve-se levar em consideração alguns fatores relevantes (Slack,1999), como:

- Custo de colocação do pedido: os custos provenientes de se reabastecer o estoque.
- Custo de falta de estoque: o custo proveniente do erro de não haver estoque para sanar um pedido.
- Custo de capital de giro: o custo empregado no pagamento dos suprimentos aos fornecedores.
- Custos de armazenagens: os custos provenientes da armazenagem física do material.
- Custos de obsolescência: ao se projetar uma política de estoque ineficiente, a empresa pode acabar por manter os itens em estoque por muito tempo e ocasionar a perda de alguns dos itens em estoque.

Os custos com estoque podem ser divididos em dois grandes grupos: os custos que diminuem a medida que o estoque aumenta e os custos que aumentam a medida que o estoque aumenta.

2.2.3 Modelos de Políticas de Estoque

Devido à necessidade de políticas de gerenciamento de nível de estoque, diversos modelos foram surgindo ao passar dos anos (ZIUKOV,2015). Cada tipo de modelo pode ser classificado em quatro categorias: propósito, período, por tipo de monitoramento de estoque e por quantidade de itens. Segundo Mula (2006), a Tabela 2.1 demonstra os modelos de política de estoque dentro de suas classificações.

Propósito	Período
<ul style="list-style-type: none"> • Quantidade econômica de pedido • Quantidade econômica de produção • Conjuntos de dimensionamento econômico de lote 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos de período único • Modelos de período múltiplo
Monitoramento de estoque	Quantidade de itens
<ul style="list-style-type: none"> • Modelos de sistema de revisão contínua • Modelos de sistema de revisão periódica 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos de item único • Modelos de item múltiplo

Tabela 2.1: Classificação dos modelos de gerenciamento de estoques
Fonte: Adaptado de Mula (2006)

Ziukov (2015) traz considerações importantes acerca da natureza das demandas, fator que o autor utiliza para classificar os modelos de gerenciamento de estoques. A demanda pode vir de duas naturezas distintas, sendo ela determinística ou probabilística. A demanda determinística é aquela em que se sabe seu valor, já a probabilística é aquela que não se sabe ao certo seu valor. Dentro de cada uma dessas classificações temos subgrupos, para a determinística temos a estática, que não apresenta nenhuma variação, e dinâmica, na qual existe a possibilidade de apresentar alguma variação. Dentro das demandas de natureza probabilística temos a estacionária, que consiste em uma distribuição estacionária com parâmetros conhecidos. Nesse cenário, a demanda segue uma distribuição de probabilidade cujos parâmetros são previamente conhecidos ou estimados com base em dados históricos.

Dentre as distribuições frequentemente utilizadas estão a Normal, a Gama e a Poisson. A outra classificação dentro da demanda probabilística é a não estacionária, que consiste em uma demanda probabilística não estacionária. Esse tipo de demanda se comporta como um grau de aleatoriedade que evolui ao longo do tempo, com mudanças regulares em sua direção e taxa de crescimento ou declínio.

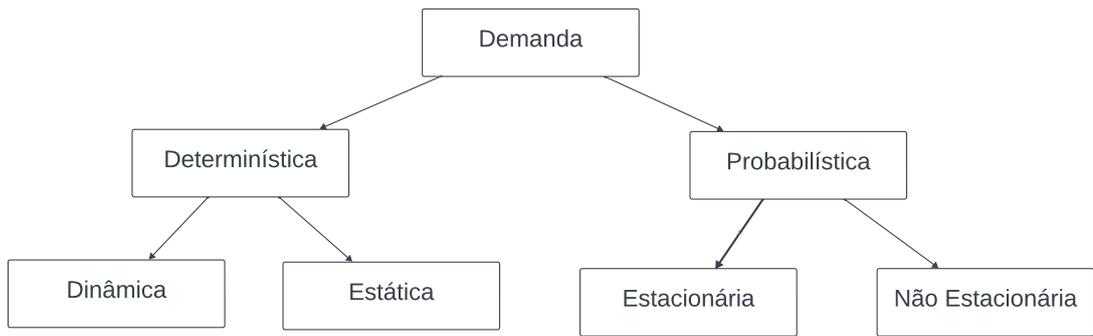


Figura 2.1: Tipo de demandas e suas classificações
 Fonte: Silver Apud Ziukov (2009)

A seguir, serão apresentados alguns dos modelos de política de estoque nomeados na Tabela 2.1. A escolha dos modelos a serem aprofundados foi baseada na natureza dos princípios neles contidos e sua importância para o presente estudo.

2.2.4 Quantidade Econômica de Pedido

O modelo de Quantidade Econômica de Pedido (EOQ), descrito por Agarwal (2014), visa minimizar o custo total de estoque através do seguinte princípio: ao se realizar um novo pedido de estoque, a quantidade solicitada deve ser o ponto de equilíbrio entre o custo de manutenção de estoque e os custos do novo pedido.

A fim de ter um bom aproveitamento do modelo, Lucey (1992) descreve os princípios básicos a serem assumidos ao se implementar a política de estoque EOQ:

- A demanda é conhecida e constante ao longo do tempo;
- Não são permitidas rupturas de estoque;
- Os pedidos possuem lead-time constante;
- Todos os pedidos são recebidos de uma única vez.

O comportamento do EOQ é representado na Figura 2.2, na qual podemos observar o fato de que a quantidade pedida minimiza os custos logísticos:

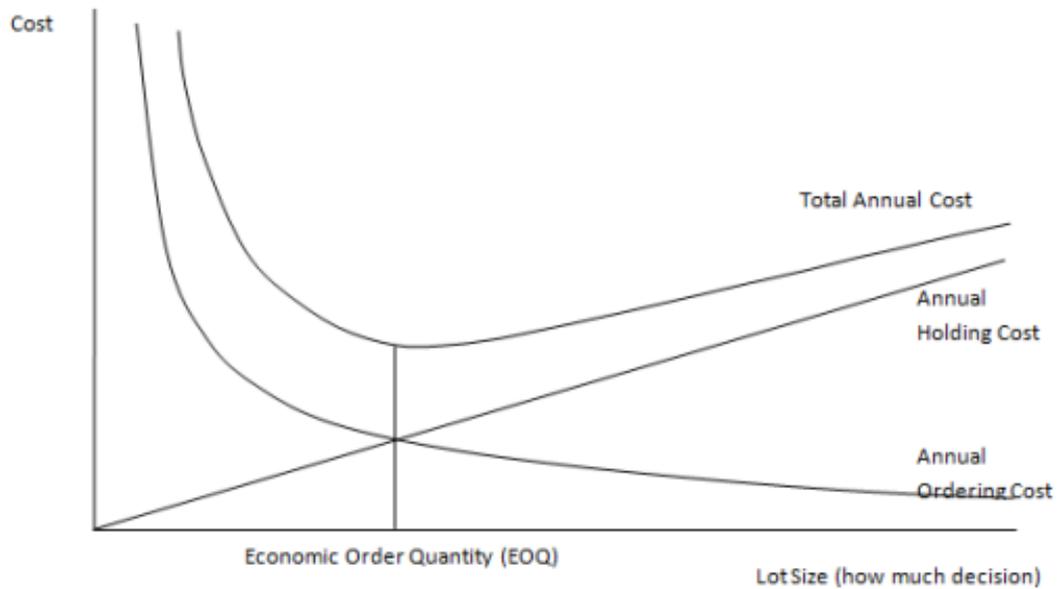


Figura 2.2: Demonstração gráfica de como o EOQ se comporta em relação aos custos logísticos.
 Fonte: Agarwal, 2014

A equação que rege o EOQ foi descrita pelo engenheiro Ford W. Harris em 1913. A quantidade a ser pedida pelo modelo EOQ é calculada por:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot C_p \cdot D}{C_a}} \quad (2.1)$$

Onde:

- C_p = Custos de Pedido
- D = Demandas
- C_a = Custo de armazenamento
- EOQ = Quantidade Econômica de Pedido

2.2.5 Modelos Baseados no Nível de Estoque

Outros modelos que podem ser adotados são os modelos baseados no nível de estoque. O primeiro modelo a ser apresentado será o (s,S) ou min-max. Segundo Axsiiter (1994), o modelo consiste no princípio da existência de um nível de estoque que varia dentro de uma variação (s,S), onde o estoque possui um valor S_{max} até um s_{min} . Quando o nível de estoque atinge um valor igual à s_{min} , deve ser solicitado um pedido de reposição de tamanho $S_{max} - I_t$, sendo I_t o

nível de estoque em dado momento t . A Figura 2.3 demonstra o comportamento do modelo (s,S) ao longo do tempo t :

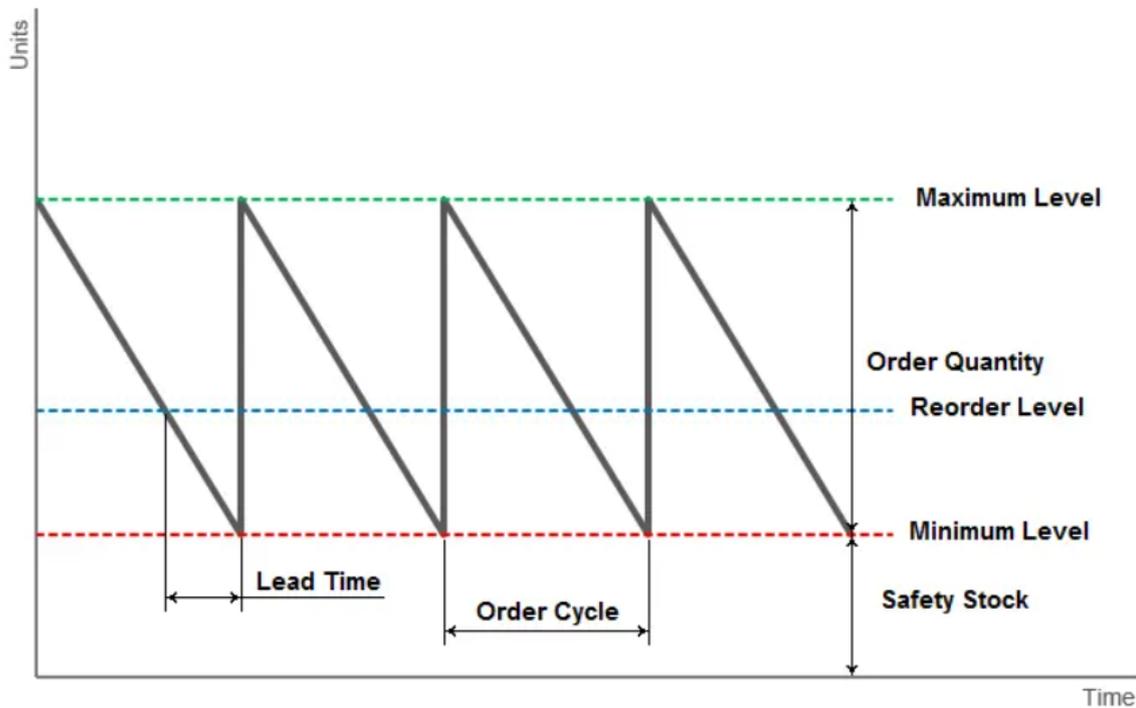


Figura 2.3: Modelo (s,S) de gestão de estoques.

Fonte: financialmanagementpro.com

O segundo modelo baseado em nível de estoque é o modelo (s,Q) , conforme descrito por BRUNAUD (2019). A estratégia conhecida como (s,Q) determina que, uma vez que o estoque atinge o ponto s , também conhecido como Reorder Point (ROP), deve ser realizado um pedido de reposição com uma quantidade equivalente ao lote econômico de compra, denotado por Q . A Figura 2.4 apresenta o comportamento do modelo ao longo do tempo:

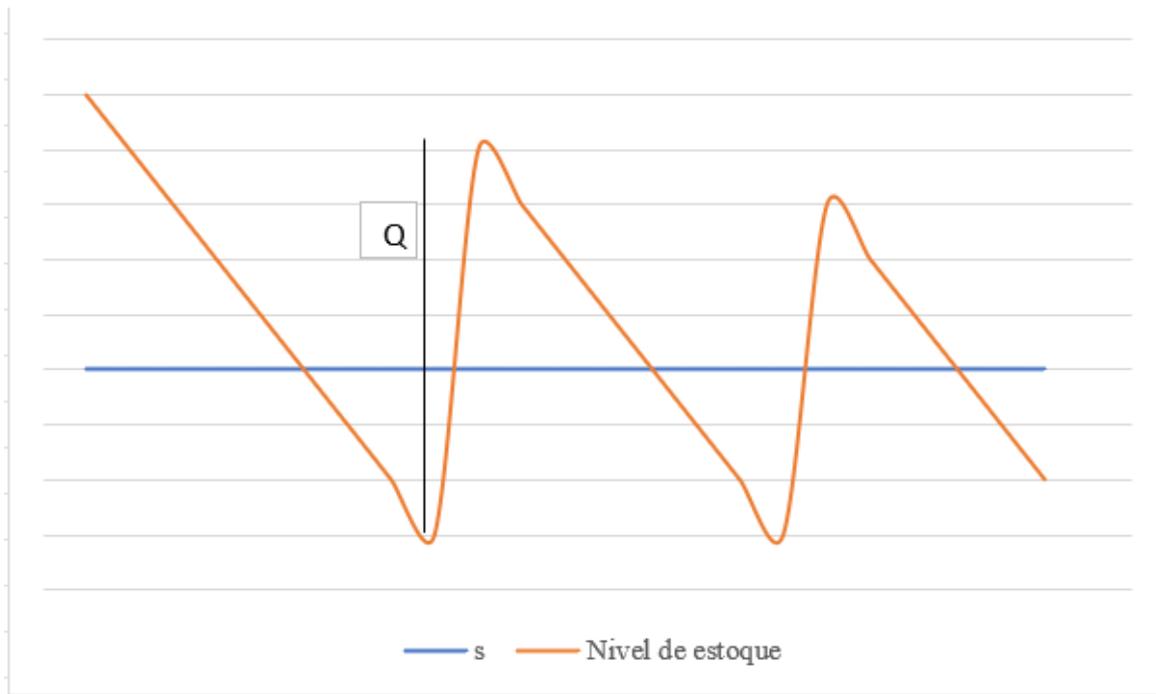


Figura 2.4: Comportamento do modelo (s,Q)
 Fonte: Adaptado de Singha (2017)

As políticas de nível de estoque (s,S) e (s,Q) são modelos de tempo contínuo, pois há um monitoramento constante do estoque. Outra alternativa apresentada na literatura é a política (t,S), que difere das anteriormente apresentadas por ser uma política de tempo discreto. Segundo GHIAN (2003), essa política obedece o seguinte comportamento: em um período fixo de tempo t , com $t = t-1+T$ e T sendo uma constante positiva, é realizado um pedido com quantidade $Q = S_{max} - I_t$. Sendo este um modelo baseado em tempo discreto, é necessário um estoque de segurança maior que os métodos (s,S) e (s,Q). A Figura 2.5 descreve o comportamento do modelo ao longo do tempo:

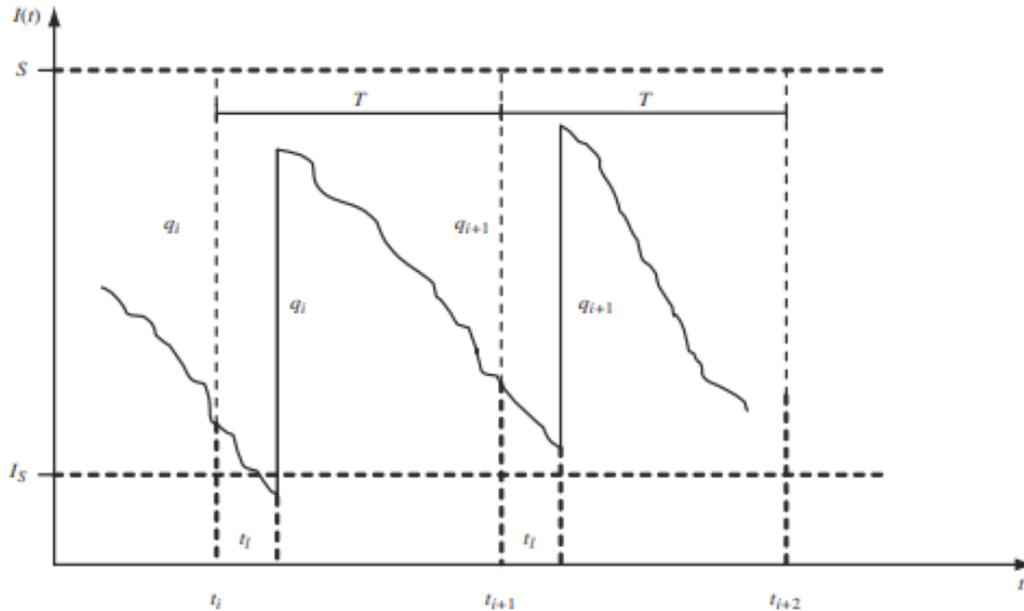


Figura 2.5: Política (t,S)
 Fonte: GHIAN (2003)

O último método de tempo discreto a ser apresentado é o (t,s,S), descrito segundo Garcia (2006) como um período de tempo t, sendo $t_i = t_{i-1} + T$ e T sendo uma constante positiva, em que avalia-se o nível do estoque e, caso o estoque encontre-se em um nível abaixo do S_{min} , é feito um pedido $Q = S_{max} - I_t$.

2.2.6 Estoque de Segurança

A utilização de estoques de segurança é necessária devido à incerteza da demanda. Este tipo de estoque, que pode ser tanto de matéria-prima quanto de produto acabado, serve para que possamos reduzir o risco de falta de estoque (Monk,2013). O estoque de segurança é calculado aplicando a Eq(2.2) (Corrêa, 2005).

$$ES = K \cdot \sqrt{(L_t \cdot \sigma_D)^2 + (\bar{D} \cdot \sigma_{L_t})^2 + (\sigma_D \cdot \sigma_{L_t})^2} \quad (2.2)$$

onde:

- ES = Estoque de segurança
- K = Fator de segurança

- \bar{D} = Demanda média no período
- σ_D = Desvio padrão da demanda
- L_t = Lead Time
- σ_{L_t} = Desvio padrão do lead time

2.3 Pesquisa Operacional

A origem da Pesquisa Operacional remonta à Segunda Guerra Mundial, quando os comandos militares britânicos e americanos convocaram cientistas para desenvolver métodos de alocação de recursos escassos, como aviões, radares e submarinos, para um extenso número de alvos e operações militares. Com o crescimento econômico no pós-guerra, esses métodos e ferramentas foram posteriormente aplicados nos setores comercial, industrial e governamental, onde os recursos a serem alocados passaram a incluir matérias-primas, máquinas, produtos comerciais, entre outros (WILSON,2009).

A área de pesquisa operacional fundamenta-se em princípios matemáticos, lógicos, estatísticos e de ciência da computação para analisar operações de qualquer natureza. Essa disciplina tem se destacado como uma ferramenta valiosa na solução de desafios complexos em organizações. Diante de um contexto caracterizado por diversas restrições, busca-se a implementação das decisões operacionais mais lógicas e vantajosas (GUPTA,1992).

Um projeto de pesquisa operacional é composto, em geral, por 4 fases: definição dos objetivos e modelagem, resolução do modelo proposto, validação do modelo e, por fim, a análise de resultados e tomada de decisão. O projeto segue este ciclo iterativo até que se obtenha o resultado mais otimizado (PEIREIRA,2009).

A Figura 2.6 demonstra como deve-se seguir este ciclo iterativo até que se obtenha o resultado mais otimizado:

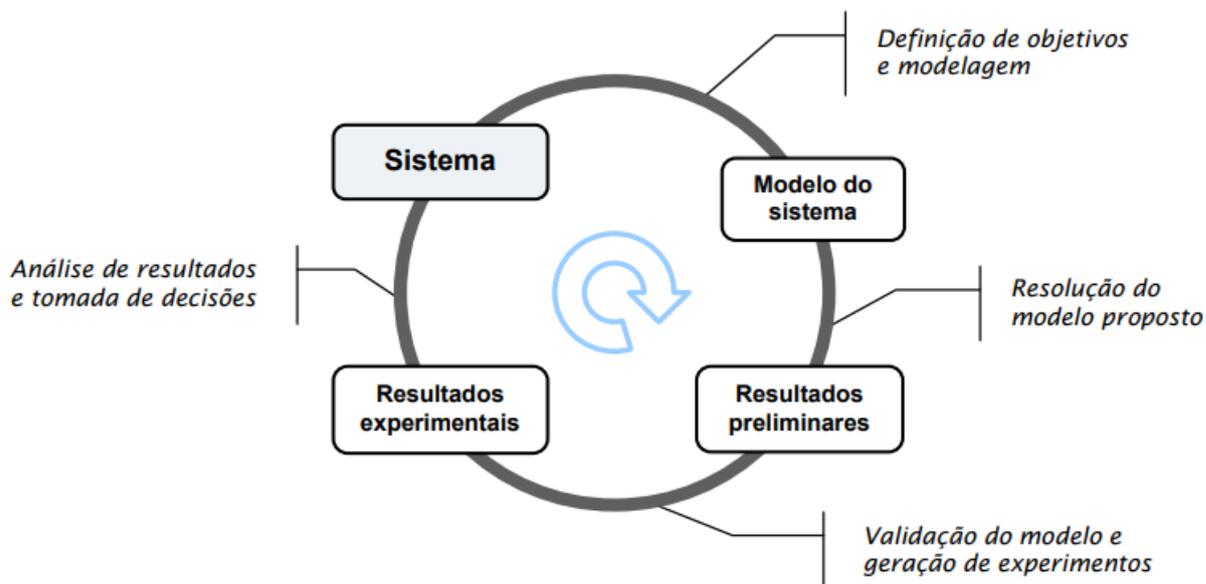


Figura 2.6: Fases de um projeto de pesquisa operacional.
 Fonte: Pereira (2009)

A pesquisa operacional pode ser aplicada em diversos setores econômicos, dentre eles o varejo, setor no qual a empresa a ser estudada se encaixa. Muitas empresas do setor varejista enfrentam o desafio de determinar o nível ideal de seus estoques para satisfazer os clientes e, ao mesmo tempo, otimizar a rotatividade de seu capital. Embora o conceito de controle de estoque não seja recente, sua evolução tem sido significativa nos últimos anos, impulsionada tanto pela pesquisa operacional quanto pela presença de computadores eletrônicos, que possibilitam uma aplicação mais detalhada das teorias de controle de estoque nas operações empresariais.

2.4 Simulação

A simulação implica na modelagem e replicação de entradas e saídas de processos, visando obter dados estatísticos (Hillier e Lieberman, 2013). A finalidade da simulação é prever como os sistemas se comportam diante de mudanças de cenário ou da introdução de novos métodos nos processos operacionais. Através da simulação, é possível criar hipóteses sobre o modelo, a fim de compreender os resultados gerados e identificar os pontos que otimizam as variáveis do sistema.

Para Harrell (2002), simulação é a montagem de um sistema em um ambiente computacional, com o intuito de compreender o cenário real e realizar ex-

perimentos que auxiliem a prever o comportamento do sistema real, indicando possíveis rearranjos e alterações. O algoritmo genérico de simulação explicado em detalhes abaixo possui 5 pontos chave: formular o problema, coletar dados, verificar a precisão, selecionar o Software, testar o modelo, planejar as simulações e executar as simulações. Importante ressaltar que a simulação, conforme descrita pelos autores, se apresenta como uma forma de baixo custo e alto impacto no auxílio da tomada de decisão. Cesar (2005) define as etapas a serem realizadas em um projeto de simulação computacional de um sistema:

- Formular o Problema
 - Compreender o problema a ser resolvido e estabelecer objetivos claros;
 - Identificar as questões que devem ser respondidas através da simulação;
- Coletar Dados
 - Identificar os dados necessários para a simulação, como por exemplo: tempo entre chegadas, distribuição de demanda e tempos de atendimento;
 - Desenvolver um diagrama de fluxo para representar os componentes envolvidos no sistema;
- Verificar a Precisão do Modelo de Simulação
 - Validar o modelo com os clientes do projeto para garantir que o fluxo criado seja consistente e represente a realidade;
- Selecionar o Software
 - Escolher a plataforma ou linguagem de programação para implementar o modelo de simulação;
- Testar o Modelo de Simulação
 - Realizar testes para validar a consistência do modelo e certificar-se de que está funcionando corretamente;
- Planejar as Simulações
 - Definir as configurações do sistema e os padrões de comportamento dos componentes para retratar a realidade;
- Executar as Simulações e Analisar os Resultados
 - Realizar as simulações conforme planejado;
 - Analisar os resultados obtidos e interpretá-los;
 - Tomar decisões com base nos resultados para ajustar o modelo, se necessário;

A Figura 2.7 apresenta uma representação do algoritmo genérico adaptado, que posteriormente será utilizado na elaboração da metodologia e aplicada ao algoritmo escrito em Python.

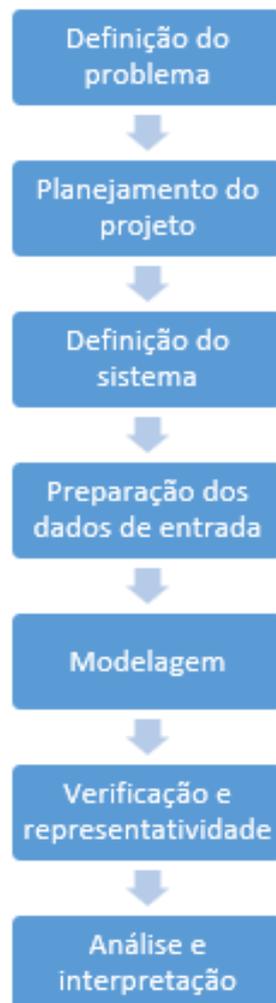


Figura 2.7: Algoritmo genérico para projetos de simulação.
Fonte: adaptado de Cesar (2005)

O próximo capítulo apresenta a metodologia aplicada neste trabalho e, em particular, a descrição do problema e dos dados coletados.

3. Metodologia

3.1 Explicação sobre o capítulo

O presente projeto usou como base o algoritmo apresentado no referencial teórico, que pode ser descrito como uma abordagem quantitativa para minimizar os custos de estoque de uma empresa industrial de grande porte. O projeto inclui a coleta e o tratamento dos dados, a análise da demandas a fim de modelar seu comportamento probabilístico, além de simulações de Monte Carlo com algoritmos escritos em Python.

3.1.1 Coleta e Análise de Dados

Com o objetivo de simular diferentes combinações de políticas de estoque, a fim de compará-las com o cenário atual da empresa, foram coletados dados relativos a diversos insumos, fazendo uso do processo de Planejamento das Necessidades de Materiais (MRP) da empresa e os custos associados. Para a simulação, foram selecionados 5 insumos com características operacionais distintas, permitindo avaliar o desempenho do algoritmo em cenários variados. Foram coletas e tratados os seguintes dados:

- A série história da demanda de produção dos últimos três anos;
- A política atual de estoque a empresa, que segue o modelo (s,S) ;
- A série histórica dos tempos de ressuprimento (Lead Time) oferecidos pelos fornecedores;
- Os custos logísticos fornecidos pela empresa.

3.1.2 Criação do Algoritmo de Otimização e Aplicação do Modelo Matemático

O algoritmo foi desenvolvido na linguagem Python 3.10 com auxílio do editor de código Jupyter Notebook. Foram utilizados pacotes comumente utilizados na área de tratamento e análise de dados como: o Pandas, o Matplotlib e

o Numpy.

A fim de termos uma boa compatibilidade do modelo com a realidade, iremos partir de algumas premissas que, em geral, são observadas na empresa:

- Os materiais não dependem uns dos outros e possuem local único de armazenagem;
- A demanda e o Lead Time são séries temporais, estacionárias e modeladas pelas seguintes distribuições de probabilidade:
 - Normal;
 - Triangular;
 - Beta;
- O estoque é predefinido;
- O custo de estoque possui percentual fixo;
- O Lead Time não é alterado caso o modelo de entrega seja FTL ou LTL;
- A análise é finita e datada de um ano;
- Os estoques de segurança não foram levados em consideração na simulação.

O modelo realiza uma simulação que projeta os níveis de estoque ao longo de um período de 365 dias. Essa projeção leva em consideração um estoque inicial S_0 , bem como a incerteza associada à demanda e ao tempo de reposição, que têm distribuições probabilísticas variáveis, dependendo do tipo de insumo e do fornecedor em questão. A simulação envolve a combinação de múltiplas variações nos parâmetros, incluindo o nível máximo de estoque, S , o ponto de reposição, s , que são elementos essenciais do algoritmo de política de estoque (s,S) , além do tempo de pedido, 'temp', que é relevante para a análise dos resultados na política (t,s,S) .

No algoritmo 1 podemos observar as variáveis importantes para ambos os algoritmos que serão simulados.

Onde:

- x = estoque do material no momento t ;
- P = preço do insumo por unidade de medida do material em reais;
- i = % do valor de estoque que corresponde ao custo diário de estoque;
- a = preço fixo de cada carro;
- q = quantidade do pedido;

Algorithm 1 Variáveis importantes

$t \geq 0$ onde t é o tempo

$y \geq 0$ onde y é a quantidade do pedido

$x \geq 0$ onde x é o estoque atual

$H \geq 0$ onde H é o custo total de estoque

$C \geq 0$ onde C é o custo total de pedido

$F \geq 0$ onde F é a contagem de falta

$h(t) \geq 0$ onde $h(t)$ é o custo de estoque no tempo t

procedure CUSTO NO MOMENTO T(x,P,i)

$$h(t) = x \cdot P \cdot i$$

end procedure

procedure CUSTO DE PEDIDO NO MOMENTO T(a,q,FTL)

$$c(t) = (\text{num}_{cars} \cdot FTL) + (q \cdot LTL)$$

end procedure

- FTL = parametrização da quantidade máxima de cada carro.

Podemos observar que a função denominada CUSTO NO MOMENTO $t(x,P,i)$ é um componente crucial em um algoritmo voltado para a gestão eficiente de estoques. Esta função tem como parâmetros o nível atual de estoque (x), o preço unitário do produto (P) e o custo percentual de armazenamento referente ao custo total (P) do produto (i). A função realiza a multiplicação entre os três parâmetros apresentados, a fim de calcular o custo de estoque no momento t . A operação da função é realizada através da fórmula $h(t) = x \cdot P \cdot i$. Esse custo reflete os gastos associados à manutenção do estoque, incluindo custos de armazenamento físico, segurança e outros fatores relevantes. Essa função é uma ferramenta fundamental para otimizar a política de estoque, visando a minimização dos custos ao longo do tempo, sendo uma ferramenta valiosa em sistemas de gestão logística e de inventário.

A função CUSTO DE PEDIDO NO MOMENTO $t(q,FTL)$ pode ser descrita como o custo de pedido no momento t . A função realiza o cálculo, recebendo como entrada a quantidade do pedido (q), o tamanho total do Full Truck Load (FTL) e o tamanho do Pallet representado pela variável Less than Truck Load (LTL). O cálculo do custo de pedido leva em consideração a utilização de parte do caminhão de entrega. O fator $(q \cdot FTL)$ representa a parte do pedido capaz de ocupar um caminhão inteiro. A parte $(q \cdot LTL)$ representa a quantidade do pedido que ocupa apenas um pedaço do caminhão. Essa função é essencial para determinar os custos envolvidos no processo de realização de pedidos, contribuindo para estratégias que buscam minimizar despesas totais.

O Algoritmo 2 representa o algoritmo de simulação para a política de gestão de estoque (s,S).

Algorithm 2 Algoritmo (s,S)

```
 $H \leftarrow 0$   
 $C \leftarrow 0$   
 $t1 \leftarrow \infty$   
 $timecounter \leftarrow 0$   
while  $timecounter > 365$  do  
   $timecounter \leftarrow timecounter + 1$   
   $H \leftarrow H + h(t)$   
   $D \leftarrow Rand()$   
   $x \leftarrow x - D$   
  if  $t1 = t$  then  
     $x \leftarrow x + y$   
     $t1 \leftarrow \infty$   
     $C \leftarrow C + c(t)$   
  end if  
  if  $x \leq 0$  then  
     $F \leftarrow F + 1$   
  end if  
  if  $x \leq s$  &  $y = 0$  then  
     $l_t \leftarrow Rand()$   
     $y \leftarrow S - x$   
     $t1 \leftarrow t + l_t$   
  end if  
end while
```

Este algoritmo modela um sistema de gestão de estoque ao longo do tempo utilizando o modelo (s,S). Inicialmente, as variáveis H e C são iniciadas em zero, e $t1$ é definido como infinito. Um contador de tempo, chamado timecounter, é incrementado a cada iteração do loop:

- Atualiza o custo total de estoque H , que é atualizado com a função $H = H + h(t)$;
- Gera-se um número aleatório de demanda D de distribuição conhecida;
- Atualiza o nível de estoque $x = x - D$;
- Caso $x - D < 0$:
 - Atualiza $x = 0$;
- Se $t1 = t$:
 - atualiza: $x = x + y$;
 - atualiza: $t1 = \infty$;
 - atualiza: $C = C + c(t)$;
- Se $x = 0$:
 - atualiza $F = F + 1$;
- Se $x < s$ e $y = 0$:
 - Gera: l_t , Lead Time, um número aleatório de distribuição conhecida;
 - Atualiza: $y = S - x$;
 - Atualiza: $t1 = t + l_t$.

O Algoritmo 3 representa o algoritmo de simulação para a política de gestão de estoque (t,s,S).

Algorithm 3 Algoritmo (t,s,S)

```
 $H \leftarrow 0$ 
 $C \leftarrow 0$ 
 $t1 \leftarrow \infty$ 
 $timecounter \leftarrow 0$ 
while  $timecounter > 365$  do
   $timecounter \leftarrow timecounter + 1$ 
   $H \leftarrow H + h(t)$ 
   $D \leftarrow Rand()$ 
   $x \leftarrow x - D$ 
  if  $t1 = t$  then
     $x \leftarrow x + y$ 
     $t1 \leftarrow \infty$ 
     $C \leftarrow C + c(t)$ 
  end if
  if  $x \leq 0$  then
     $F \leftarrow F + 1$ 
  end if
  if  $x \leq s$  &  $y = 0$  then
     $l_t \leftarrow Rand()$ 
     $y \leftarrow S - x$ 
     $t1 \leftarrow t + l_t$ 
  end if
  if  $timecounter = temp$  &  $y = 0$  then
     $l_t \leftarrow Rand()$ 
     $y \leftarrow S - x$ 
     $t1 \leftarrow t + l_t$ 
     $timecounter \leftarrow 0$ 
  end if
end while
```

O algoritmo apresentado é um modelo de simulação do tipo para (t,s,S), ou seja, um sistema de gestão de estoques ao longo do tempo. Inicialmente, as variáveis H e C são estabelecidas como representantes do custo total de estoque e custo total de pedidos, respectivamente, e $t1$ é definido como infinito. Um loop principal é executado enquanto o contador de tempo, $timecounter$, permanece acima de 365 unidades.

- Atualiza: $timecounter = timecounter + 1$;
- Atualiza: $H = H + h(t)$;
- Gera-se o número aleatório D , representada por um número aleatório de distribuição conhecida;
- Então: Atualiza: $x = x - D$;
- Se $t1 = t$:
 - Atualiza: $x = x + y$;

- Atualiza: $t1 = \infty$;
 - Atualiza: $C = C + c(t)$;
- Se $x \leq 0$:
- atualiza $F = F + 1$;
- Se $x \leq \text{sey} = 0$:
 - Gera-se: l_t , Lead Time, um número aleatório de distribuição conhecida;
 - Atualiza: $y = S - x$;
 - Atualiza: $t1 = t + l_t$;
 - Atualiza: $y = S - x$;
 - Atualiza: $t1 = t + l_t$;
 - Se $\text{timecounter} = \text{temp}$ e $y = 0$:
 - Gera-se: l_t , Lead Time, um número aleatório de distribuição conhecida;
 - Atualiza: $y = S - x$;
 - Atualiza: $t1 = t + l_t$;
 - Atualiza: $y = S - x$;
 - Atualiza: $t1 = t + l_t$;
 - Atualiza: $\text{timecounter} = 0$.

Em resumo, estes algoritmos simulam a dinâmica de um sistema de gestão de estoque ao longo de um período de 365 dias. Durante esse processo, são considerados custos de estoque, custos de pedido, possíveis faltas de estoque e reabastecimento de inventário. O objetivo é observar o comportamento do estoque e os custos associados ao longo do tempo para o modelo (t,s,S) e para o modelo (s,S) .

3.2 Análise dos Resultados

Após serem realizadas simulações com os algoritmos apresentados para os SKU's selecionados, foram exportados os datasets para arquivos em formato ".xlsx" que posteriormente foram analisados com auxílio do gerenciador de planilhas Microsoft Excel. As simulações foram realizadas em Python com auxílio das bibliotecas Pandas, Matplotlib e Numpy. Vale ressaltar que foram realizadas simulações para os dois modelos de transporte: o Full Truck Load (FTL), e o Less than Truck Load (LTL). Optou-se por realizar ambas as simulações pois, segundo os dados fornecidos pela empresa, o modelo utilizado é o FTL, e o modelo LTL implicaria em uma redução de custos ainda maior. Isso acontece pois o modelo LTL apresenta uma redução de custos ao se utilizar parte do caminhão e não o caminhão todo.

O próximo capítulo irá discorrer sobre: os dados coletados e seu tratamento prévio, os resultados obtidos nas simulações e as análises gráficas do comportamento do estoque ao longo tempo. Também foi elaborada uma análise de sensibilidade, a fim de observar o impacto do custo de armazenamento nos custos gerais da operação.

4. Coleta e Análise de Dados

O presente capítulo tem como objetivo apresentar como foram extraídos e tratados os dados e o comportamento da demanda segundo suas funções probabilísticas. Além disso, é descrita a realização de simulações para as políticas (s,S) e (t,s,S), a fim de obter a política mais otimizada, e a comparação com a política atual utilizada pela empresa para cada um dos SKU's.

4.1 Coleta dos Dados

Os dados obtidos tiveram como base os modelos de simulação apresentados no corpo do projeto. A partir desse princípio, foi feita a coleta dos dados essenciais para a criação do algoritmo de simulação. Foram selecionados cinco materiais, cada um com parâmetros característicos ao próprio SKU que incluem: tempo de entrega, o preço unitário por quilograma e a demanda da produção.

A empresa em questão possui um ERP responsável pela gestão de diversos ativos da empresa, dentre eles o estoque de insumos primários. A fim de extrair os dados referentes aos cinco SKU's a serem simulados no presente projeto, foi utilizado o Software Microsoft SQL Server Management Studio para gerar e executar queries na linguagem SQL. Isto resultou nos valores de estoque no tempo t e data do pedido de reposição e sua chegada. Os dados passaram pelo mascaramento do SKU a fim de manter a política de compliance da empresa e foram exportados para o formato Excel Workbook, representados pela Tabela 4.1:

Material Id	Quantity	Unit Of Measurement	Date
XXX09	32.381	KG	2023-02-17 00:00:00.0000000
XXX09	27.619	KG	2023-02-16 00:00:00.0000000
XXX09	27.381	KG	2023-02-15 00:00:00.0000000
XXX09	34.076	KG	2023-02-14 00:00:00.0000000
XXX09	37.616	KG	2023-02-13 00:00:00.0000000
XXX09	24.070	KG	2023-02-12 00:00:00.0000000
XXX09	35.362	KG	2023-02-11 00:00:00.0000000
XXX09	16.189	KG	2023-02-10 00:00:00.0000000
XXX09	18.901	KG	2023-02-09 00:00:00.0000000
XXX09	23.333	KG	2023-02-06 00:00:00.0000000

Tabela 4.1: Adptado do relatório exportado pela empresa do consumo de insumos com SKU mascarado
Fonte: Autor

Devido ao fato dos dados exportarem a coluna Date no formato ISO 8601, foi realizado um tratamento a fim de convertê-la para o formato de data mais comumente utilizado pelo Excel, o formato "dd/MM/yyyy", facilitando as análises. Além do relatório exportado em formato ".xlsx" com as demandas da produção, também foi exportado um relatório em mesmo formato de arquivo com o Lead time apresentados na Tabela 4.2.

fornecedor Id	Data Pedido	Data entrega	Lead Time (dias)
XXXX	24/06/2022	05/08/2022	42
XXXX	19/04/2022	09/06/2022	51
XXXX	19/04/2022	09/06/2022	51
XXXX	25/11/2022	31/01/2023	67
XXXX	22/02/2022	24/02/2022	2
XXXX	22/02/2022	24/02/2022	2
XXXX	22/02/2022	24/02/2022	2

Tabela 4.2: Adptado do relatório exportado pela empresa de lead time dos insumos com fornecedor mascarado
Fonte: Autor

De posse dos dados tratados, utilizou-se o input analyzer do Software de simulação Arena, para se obter as distribuições probabilísticas das demandas dos 5 materiais a serem analisados. Os resultados das demandas dos 5 insumos estudados estão expressos na Tabela 4.3:

Material	Demanda	Lead Time
Material 1	Triangular(3170,13000,16300)	Triangular(2.5,9,12.5)
Material 2	Normal(202,67)	Normal(19.2,2.1)
Material 3	Normal(45118,8034)	Normal(4.4,1.25)
Material 4	Normal(603,183)	Normal(40.2,9.95)
Material 5	Normal(4.14,1.38)	Normal(22.5,5.6)

Tabela 4.3: Distribuição de probabilidade de demandas e lead time de cada material
Fonte: Autor

É interessante observar a variação dos dados coletados para os insumos na Tabela 4.3. Em particular, o material 1 obedece a uma função de probabilidade do tipo triangular, um modelo estatístico que descreve a incerteza em torno de uma variável aleatória, caracterizada por três parâmetros: valor mínimo, valor máximo e valor mais provável. Os demais materiais obedecem a uma função normal, também chamada de distribuição normal, que é uma das distribuições de probabilidade mais amplamente utilizadas na estatística. É caracterizada por uma forma de sino simétrica e definida por dois parâmetros: média e desvio padrão.

Após a coletas dos dados de demanda e Lead Time foram coletados os seguintes dados:

- Preço dos materiais em R\$ por Kg;
- Estoque inicial no tempo $t = 0$ para os cinco materiais;
- A política (s,S) utilizada atualmente pela empresa;
- O valor de Full Truck Load de cada fornecedor;
- O valor do pallet para o Less Than Truck Load;
- Custo de estoque;
- Custo de pedido;

Após a coleta dos dados, os mesmos foram dispostos na Tabela 4.4, que contém todos os parâmetros úteis para a simulação incluindo o preço por kg, tamanho do pallet, tamanho do Full Truck Load, porcentagem do custo de estoque, estoque inicial e política (s,S) utilizada pela empresa atualmente.

Material	Política (s,S)	Preço	FTL	Custo estoque	Estoque Inicial	Pallet size
1	(90000 , 225000)	887,76	22500	17%	15000	2500
2	(4000 , 10000)	1950	3000	17%	8500	2500
3	(280000 , 385000)	1025,00	35000	17%	25000	2500
4	(15000 , 95600)	1345,00	12800	17%	44800	2500
5	(120 , 1120)	1700,00	500	17%	700	2500

Tabela 4.4: Dados úteis para as simulações.
Fonte: Autor

4.2 Elaboração e Aplicação do Algoritmo

A presente seção irá discorrer acerca da elaboração do algoritmo prático, utilizando a linguagem de programação Python, com auxílio de bibliotecas, e quais foram os resultados obtidos pelas simulações para cada um dos 5 materiais analisados no projeto.

4.2.1 Elaboração do Algoritmo em Python

De posse dos dados coletados, tratados e organizados, foram elaborados 10 algoritmos distintos em Python, a fim de realizar a simulação para a política (s,S) e (t,s,S) com diferentes níveis de s_{min} e S_{max} e diferentes valores de t. O algoritmo foi elaborado com auxílio da biblioteca Pandas, comumente utilizada para trabalhar com dataframes, tal como a biblioteca Numpy, comumente utilizada para geração de números aleatórios para diferentes tipos de distribuições probabilísticas.

O primeiro passo foi definir a função de custo de pedido. Os dados fornecidos pela empresa apresentavam os custos de pedido segundo o modelo Full Truck Load. Primeiramente elaborou-se uma função de custo para o modelo FTL que dependia do preço do kg do material e do tamanho do Full Truck Load de cada fornecedor. Após isso, foi elaborado uma outra função de custo para o valor de LTL utilizando como unidade base o Pallet apresentado na Tabela 4.4. A função de custo para o modelo FTL está expressa na Figura 4.1, enquanto a função de custo para o modelo LTL está expressa na Figura 4.2

```

#Definindo custo de transporte
def c(ftl,quantity,unit_price):
    ftl_cost = ftl*unit_price
    if quantity <= ftl:
        return ftl_cost
    elif quantity > ftl:
        num_cars = quantity//ftl
    if quantity % ftl != 0:
        num_cars += 1
    return num_cars * ftl_cost

```

Figura 4.1: Função de custo FTL
 Fonte: Autor

A função denominada *c* calcula o custo total de transporte de uma carga, levando em consideração a capacidade de carga por caminhão FTL (Full Truck Load), a quantidade total de carga a ser transportada e o preço unitário por carga. Inicialmente, o custo do FTL é calculado multiplicando a quantidade de caminhões necessários pela unidade de preço. Em seguida, a função avalia se a quantidade total de carga é inferior ou igual à capacidade de um caminhão. Se for o caso, o custo total é simplesmente o custo dos caminhões calculados anteriormente. Caso contrário, a função determina o número de caminhões necessários para transportar a carga total, considerando a divisão inteira da quantidade pela capacidade do caminhão. Adicionalmente, se houver uma quantidade restante após o preenchimento dos caminhões, a função ajusta o número de caminhões necessários para cima e retorna o custo do pedido correspondente.

A imagem abaixo irá representar a função de custo, escrita em Python, para o modelo de entrega Less than Truck Load:

```

def c(ftl,quantity):
    preco_kg = 1.354
    pallet_size = 2500

    ftl_cost = ftl*preco_kg
    #pallet_cost = (pallet_size * ftl_cost)/ftl

    pallet_cost = (pallet_size*preco_kg)
    num_cars_int = quantity//ftl
    quantity_rest = quantity%ftl
    quantity_rest_pallet = quantity_rest//pallet_size
    if quantity_rest_pallet%pallet_size !=0:
        quantity_rest_pallet+=1
    custo = round((num_cars_int * ftl_cost) +
        (quantity_rest_pallet*pallet_cost),2)
    return custo

```

Figura 4.2: Função de custo LTL
Fonte: Autor

A função *c* calcula o custo total de pedido de uma carga, considerando a utilização de caminhões FTL (Full Truck Load) e Pallets. Os parâmetros da função incluem a capacidade do caminhão e a quantidade total de carga a ser transportada. A função calcula, levando em consideração o preço por quilograma da carga, o tamanho do Pallet e o número de caminhões cheios necessários para transportar o pedido.

Em resumo, a função divide a carga em caminhões, calcula o custo associado a esses caminhões cheios e determina a quantidade restante que requer o uso de Pallets. O número de Pallets necessários é calculado, considerando o tamanho máximo de carga por Pallet. A função retorna o custo total de pedido, resultante da combinação dos custos dos caminhões totalmente preenchidos e dos Pallets necessários para transportar a quantidade restante, sendo o resultado final arredondado.

4.2.2 Aplicação do Algoritmo

Em seguida, foi elaborada a função de custo de estoque e os algoritmos de simulação de (s,S) e (t,s,S). Foram gerados diversas combinações para as políticas de estoque. Os resultados da simulação foram exportados em formato ".xlsx" e analisados. A Figura 4.3 demonstra um exemplo de output do algoritmo de simulação da política (s,S) para o material 2.

Política	Custo Total	Custo Estoque	Custo Pedido	N Faltas
[4500, 8200]	R\$ 1.125.249,28	R\$ 1.022.517,43	R\$ 102.731,85	11
[4600, 8200]	R\$ 1.132.110,04	R\$ 1.028.097,04	R\$ 104.013,00	11
[4400, 8300]	R\$ 1.134.503,22	R\$ 1.034.672,97	R\$ 99.830,25	11
[4700, 8200]	R\$ 1.135.271,84	R\$ 1.030.363,79	R\$ 104.908,05	11
[4500, 8300]	R\$ 1.141.547,63	R\$ 1.040.202,23	R\$ 101.345,40	10
[4300, 8400]	R\$ 1.142.867,88	R\$ 1.046.003,58	R\$ 96.864,30	11
[4800, 8200]	R\$ 1.143.347,59	R\$ 1.037.573,74	R\$ 105.773,85	11
[4900, 8200]	R\$ 1.147.117,00	R\$ 1.040.606,05	R\$ 106.510,95	11
[4600, 8300]	R\$ 1.153.657,08	R\$ 1.050.702,93	R\$ 102.954,15	9
[4400, 8400]	R\$ 1.154.608,34	R\$ 1.055.854,49	R\$ 98.753,85	10
[4300, 8500]	R\$ 1.157.464,39	R\$ 1.063.168,24	R\$ 94.296,15	11
[4700, 8300]	R\$ 1.159.625,85	R\$ 1.055.530,95	R\$ 104.094,90	9
[4500, 8400]	R\$ 1.164.624,25	R\$ 1.064.753,05	R\$ 99.871,20	9
[4800, 8300]	R\$ 1.166.567,44	R\$ 1.061.325,94	R\$ 105.241,50	9

Tabela 4.5: Resultado da simulação para política (s,S) para o material 2.

Fonte: Autor

A Tabela 4.5 apresenta o output do algoritmo (s,S), nela podemos obter informações estatísticas importantes como o tipo de política, os custos associados àquela política e a quantidade de faltas, também conhecidas como ruptura de estoques. Estes dados servem para que seja possível a visualização da política que encontre o equilíbrio entre os menores custos totais e a menor quantidade de faltas. A Tabela 4.5 demonstra apenas o output do material 2, porém todos os demais materiais obtiveram outputs dos algoritmos contendo dados da mesma natureza.

Por fim foram realizadas as simulações para a política (t,s,S), os resultados dessas simulações para o material 2 estão apresentados na Tabela 4.6. Vale ressaltar também que a empresa em questão utiliza o modelo de entrega Full Truck Load, FTL. As simulações apresentadas utilizaram do modelo LTL na entrega e foi realizado uma simulação para a política atual utilizando o modelo de entrega FTL.

Política	Custo Total	Custo Estoque	Custo Pedido	N Faltas
[20, 1000, 5000]	R\$ 653.123,32	R\$ 595.442,32	R\$ 57.681,00	143
[21, 1000, 5000]	R\$ 654.566,67	R\$ 596.651,67	R\$ 57.915,00	143
[22, 1000, 5000]	R\$ 653.566,66	R\$ 595.593,16	R\$ 57.973,50	143
[23, 1000, 5000]	R\$ 654.035,14	R\$ 596.120,14	R\$ 57.915,00	143
[24, 1000, 5000]	R\$ 653.463,76	R\$ 595.665,76	R\$ 57.798,00	144
[25, 1000, 5000]	R\$ 655.196,93	R\$ 597.281,93	R\$ 57.915,00	143
[26, 1000, 5000]	R\$ 653.405,79	R\$ 595.724,79	R\$ 57.681,00	143
[27, 1000, 5000]	R\$ 652.188,05	R\$ 594.390,05	R\$ 57.798,00	144
[28, 1000, 5000]	R\$ 653.901,70	R\$ 596.045,20	R\$ 57.856,50	143

Tabela 4.6: Resultado da simulação para política (t,s,S) para o material 2.
Fonte: Autor

A Tabela 4.6 apresenta o resultado do algoritmo (t,s,S), nela podemos obter informações estatísticas importantes sobre o tipo de política, os custos associados àquela política e a quantidade de faltas. Este resultado difere da Tabela 4.5 pois, além dos diferentes níveis de s_{min} e S_{max} , também são utilizados diferentes valores para t . Assim como os outputs da Tabela 4.5, os resultados da Tabela 4.6 demonstram os custos totais e números de faltas, o que possibilita encontrar a política mais otimizada. A Tabela 4.6 demonstra apenas o resultado do material 2, porém todos os materiais obtiveram outputs contendo dados da mesma natureza

O resultado da política atual, com modelo de entrega FTL, está expressa na Tabela 4.7:

Política	Custo total	Custo Estoque	Custo Pedido	N Falta
[4000, 10000]	R\$ 1.486.958,61	R\$ 1.288.748,91	R\$ 198.209,70	15

Tabela 4.7: Política atual com FTL.
Fonte: Autor

4.3 Análise dos Resultados

Atualmente as empresas busca cada vez mais se tornarem Data Driven Organizations, ou seja, instituições que baseiam suas decisões, políticas e governanças na análise de dados. As simulações se demonstraram como uma forte ferramenta no auxílio na tomada de decisão baseada em dados. Com a utilização desta solução de custo praticamente zero e alta fidelidade ao cenário real, foi possível obter dados de elevada qualidade e precisão. Além de elevado impacto para a organização em questão, as simulações também demonstraram que apenas com a alteração da atual política de estoque, pode-se obter economias de

escalas acima dos milhares.

De posse dos resultados das dez simulações elaboradas, foi elaborado o quadro comparativo para a política (s,S). No quadro expresso pela Tabela 4.8 é possível observar economia nos 5 materiais simulados. O quadro 4.9 realiza a mesma comparação para os 5 materiais com as políticas otimizadas (t,s,S).

Material	S,S atual	Custo total	s,S otimizado	Custo Total	Diferença	% economia
1	[90000, 225000]	R\$ 17.067.506,32	[117000, 200000]	R\$ 15.892.177,95	R\$ 1.175.328,37	7%
2	[4000, 10000]	R\$ 1.486.958,61	[4900, 9100]	R\$ 1.341.924,98	R\$ 145.033,63	10%
3	[280000, 385000]	R\$ 41.057.292,87	[274000, 384000]	R\$ 39.963.865,37	R\$ 1.093.427,49	3%
4	[150000, 95600]	R\$ 9.427.520,98	[34000, 60100]	R\$ 6.504.596,77	R\$ 2.922.924,21	31%
5	[120, 1200]	R\$ 180.569,53	[140, 310]	R\$ 77.910,84	R\$ 102.658,69	57%

Tabela 4.8: Comparação da política atual com a (s,S) otimizada.

Fonte: Autor

Ao analisarmos a Tabela 4.8, podemos observar uma redução de custos significativa, principalmente no material 5, reduzindo em mais da metade o custo total para a política otimizada (s,S) em relação a política observada na empresa, também do tipo (s,S). Obtivemos também uma redução no índice de ruptura de estoque, o que impacta diretamente nos resultados da empresa. A redução na quantidade de faltas será posteriormente apresentada.

Material	S,S atual	Custo total	t,s,S Otimizada	Custo total	Diferença	% Economia
1	[90000, 225000]	R\$ 17.067.506,32	[6, 115000, 200000]	R\$ 15.848.004,42	R\$ 1.219.501,90	7%
2	[4000, 10000]	R\$ 1.486.958,61	[34, 4900, 9000]	R\$ 1.315.816,02	R\$ 171.142,58	12%
3	[280000, 385000]	R\$ 41.057.292,87	[9, 237000, 378000]	R\$ 39.456.500,86	R\$ 1.600.792,00	4%
4	[150000, 95600]	R\$ 9.427.520,98	[44, 39300, 63300]	R\$ 6.126.119,71	R\$ 3.301.401,27	35%
5	[120, 1200]	R\$ 180.569,53	[68, 130, 300]	R\$ 76.174,89	R\$ 104.394,64	58%

Tabela 4.9: Comparação da política atual com a (t,s,S) otimizada.

Fonte: Autor

De posse dos resultados, é possível observar uma economia maior na política (t,s,S) em comparação com a política (s,S), conforme era de se esperar segundo a teoria, e uma maior economia em relação a política atual. Esta economia pode ser observada no quadro 4.10, que compara os custos das políticas (s,S) otimizada e (t,s,S) otimizada.

É possível observar uma redução ainda mais significativa em relação aos custos totais do que a política otimizada (s,S). O material 5 foi o material que possuiu uma redução mais significativa, de aproximadamente 58% dos custos totais. Uma redução de 4% observada no material 3, gera uma economia de mais de 1,6 milhão de reais.

Material	t,s,S Otimizada	Custo total	s,S otimizado	Custo Total	Diferença (s,S) - (t,s,S)
1	[6, 115000, 200000]	R\$ 15.848.004,42	[117000, 200000]	R\$ 15.892.177,95	R\$ 44.173,53
2	[34, 4900, 9000]	R\$ 1.315.816,02	[4900, 9100]	R\$ 1.341.924,98	R\$ 26.108,96
3	[9, 237000, 378000]	R\$ 39.456.500,86	[274000, 384000]	R\$ 39.963.865,37	R\$ 507.364,51
4	[44, 39300, 63300]	R\$ 6.126.119,71	[34000, 60100]	R\$ 6.504.596,77	R\$ 378.477,06
5	[68, 130, 300]	R\$ 76.174,89	[140, 310]	R\$ 77.910,84	R\$ 1.735,95
total	-	R\$ 62.822.615,91	-	R\$ 63.780.475,91	R\$ 957.860,00

Tabela 4.10: Comparação da política (s,S) otimizada com (t,s,S) otimizada.
Fonte: Autor

A análise dos resultados das simulações revela que as políticas que adotaram a estratégia de controle de estoque (t,s,S) tiveram um desempenho superior em comparação com as políticas que utilizaram apenas a estratégia (s,S). De fato, as políticas (t,s,S) se destacaram ao obter resultados mais vantajosos do que as políticas (s,S), resultando em uma economia significativa de R\$ 957.860,00.

É possível observar economia não apenas em valores monetários, mas também em uma redução no índice de falha dos materiais. A Tabela 4.11 apresenta o comparativo na redução da quantidade de faltas da política atual em comparação com a política (t,s,S) otimizada, resultando em uma redução de 45% nas faltas evitadas pela política otimizada.

Material	Política Atual	N Faltas	Política Otimizada	N Faltas	Faltas Evitadas	% Faltas evitadas
1	[90000, 225000]	33	[6, 115000, 200000]	16	17	52%
2	[4000, 10000]	15	[34, 4900, 9000]	2	12	84%
3	[280000, 385000]	65	[9, 237000, 378000]	59	6	9%
4	[150000, 95600]	28	[44, 39300, 63300]	0	28	100%
5	[120, 1200]	1	[68, 120, 630]	0	1	100%
total	-	142	-	78	64	45%

Tabela 4.11: Comparação da política (s,S) otimizada com (t,s,S) otimizada.
Fonte: Autor

Como definido nos objetivos específicos do presente projeto, uma análise gráfica dos materiais será realizada. Os gráficos foram feitos com auxílio da biblioteca Matplotlib. A Figura 4.3 apresenta um gráfico da política de estoque atual para o material 4 em que podemos observar que são feitos poucos pedidos e há um nível de estoque maior, o que acaba por tornar os custos muito elevados pois estes são responsáveis por 96% dos custos logísticos.

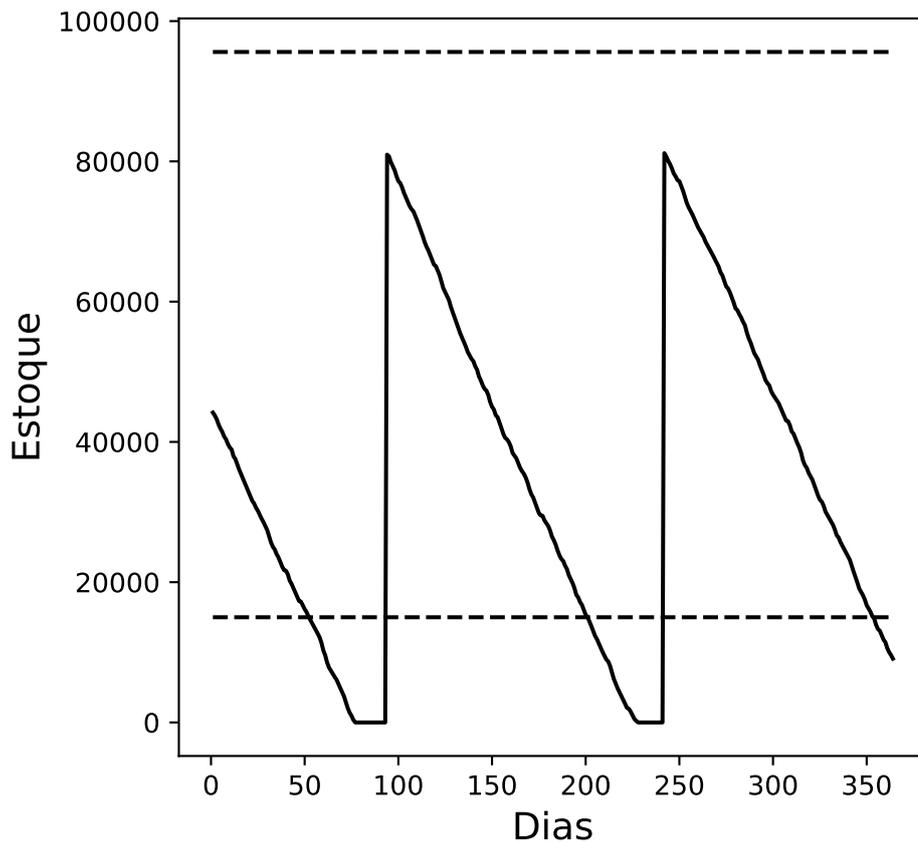


Figura 4.3: Política atual (s,S) para o material 4.

Fonte: Autor

É possível observar que no cenário real, devido a uma maior diferença entre os valores de s_{min} e S_{max} se comparado aos modelos otimizados, são realizados menos pedidos. Tal observação condiz com a teoria apresentada no referencial teórico pois, como a teoria apresentada, o tamanho do pedido é definido por $Q = S_{max} - x$, onde x é o nível atual do estoque. Ao longo do tempo, quando o nível de estoque cai para valores $x \leq s_{min}$, é realizado um pedido de elevada quantidade. Desse modo, eleva-se os custos de armazenamento, responsável pela maior parte dos custos logísticos.

Ao analisarmos a política otimizada, é observada uma redução na quantidade armazenada e um aumento na quantidade de pedidos, diminuindo o custo total devido ao fato de se reduzir os custos com armazenamento. Este fenômeno está demonstrado na Figura 4.4.

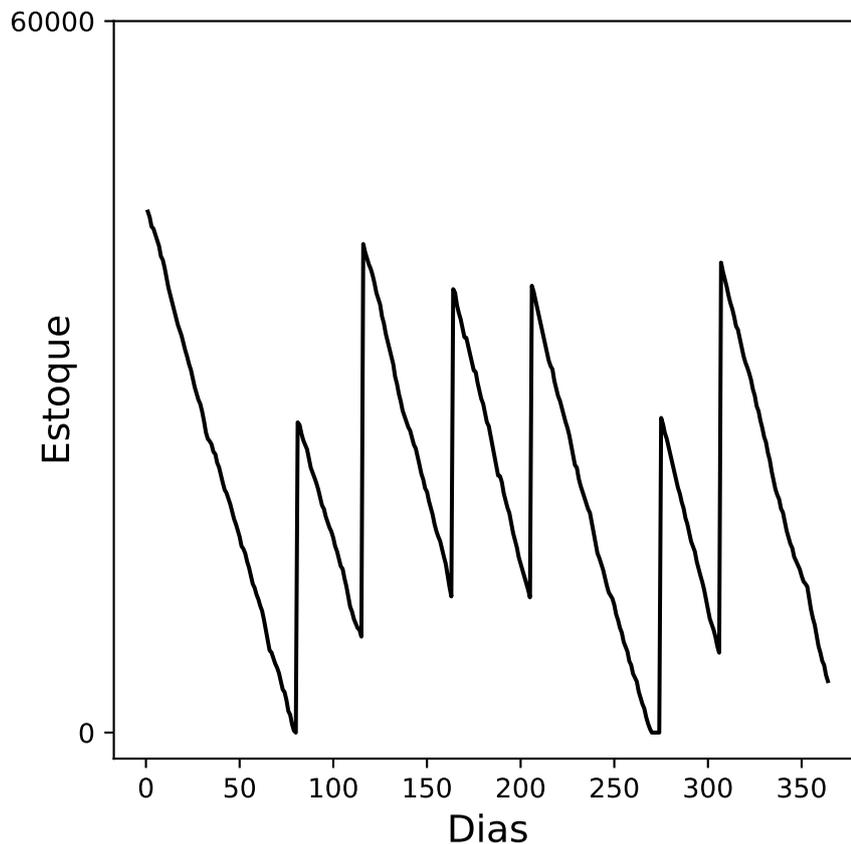


Figura 4.4: Política otimizada (s,S) para o material 4.
 Fonte: Autor

A análise gráfica do cenário otimizado para a política (s,S) demonstra um aumento na quantidade de pedidos, reduzindo assim a quantidade armazenada. Este fenômeno ocorre graças ao fato de a política otimizada possuir um $\Delta_s = S_{max} - s_{min}$ menor em relação ao modelo da política atual. Esse fato demonstra concordância com a teoria, já que essa diferença define o tamanho do pedido. Como o tamanho do pedido é menor, são necessários mais pedidos a fim de suprir a necessidade da demanda.

O mesmo comportamento pode ser visto na política que apresentou os menores custos, a política (t,s,S) otimizada para o material 4. O comportamento pode ser observado na Figura 4.5:

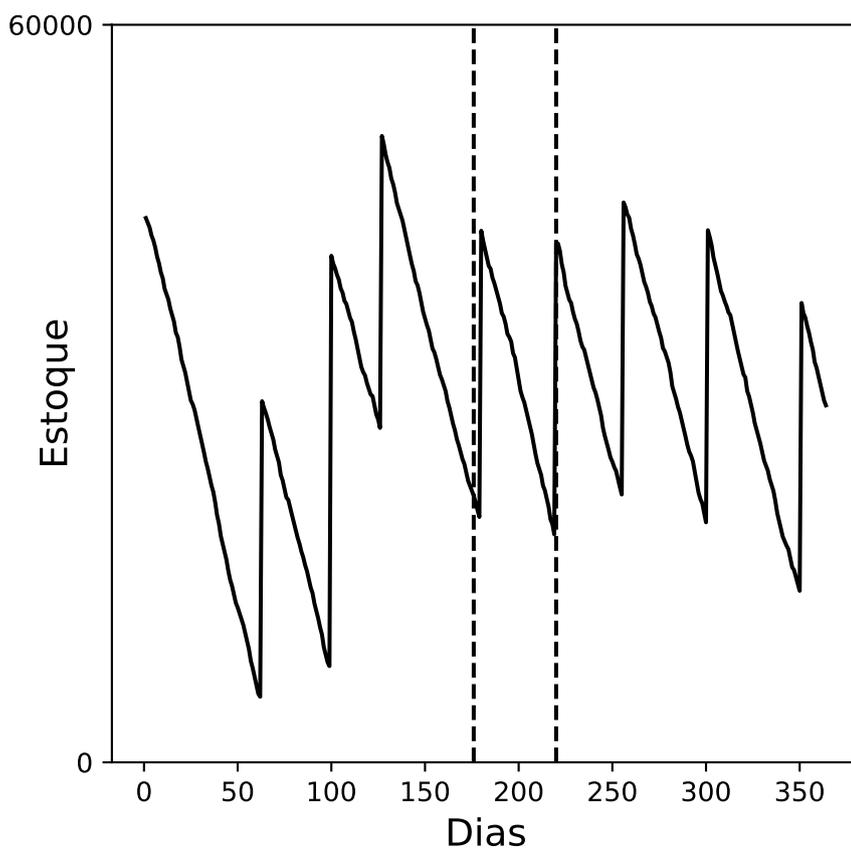


Figura 4.5: Política otimizada (t,s,S) para o material 4.
 Fonte: Autor

A Figura 4.6 demonstra o comportamento dos custos de estoque e custos de pedido ao longo do período simulado de um ano. Os custos apresentados na figura são relativos ao modelo (s,S) utilizado atualmente na empresa, para o material 4.

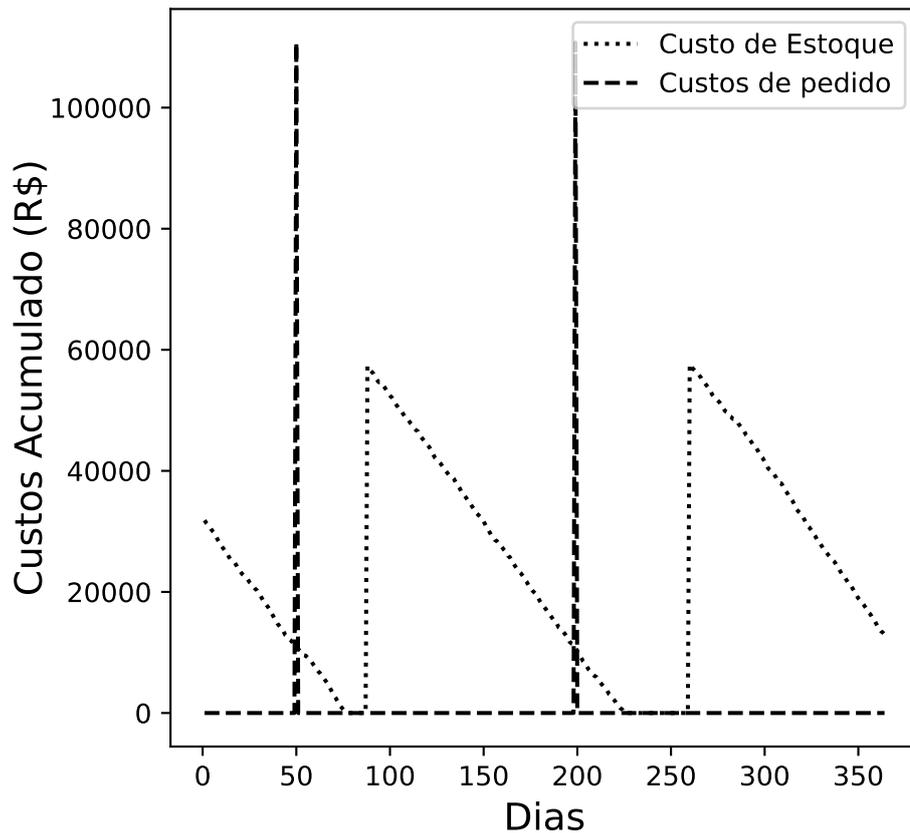


Figura 4.6: Custos de estoque e custos de pedido ao longo do tempo para o material 4 segundo a política atual da empresa.
Fonte: Autor

Ao observar a imagem, é possível perceber que o custo despendido para se realizar um único pedido, em dado momento t , é elevado, o que retira da empresa capital de giro que poderia ser reinvestido na empresa.

A Figura 4.7 apresenta a representação gráfica dos custos de estoque e custos de pedidos ao longo do ano para a política (s,S) para o material 4, a fim de serem realizadas comparações. É possível observar um aumento na quantidade de pedidos e, conseqüentemente, uma redução nos custos de armazenamento. Este fenômeno acaba por possibilitar, além de uma redução nos custos totais, uma diluição maior dos custos ao longo do período, o que acarreta em um impacto menor no fluxo de caixa da empresa.

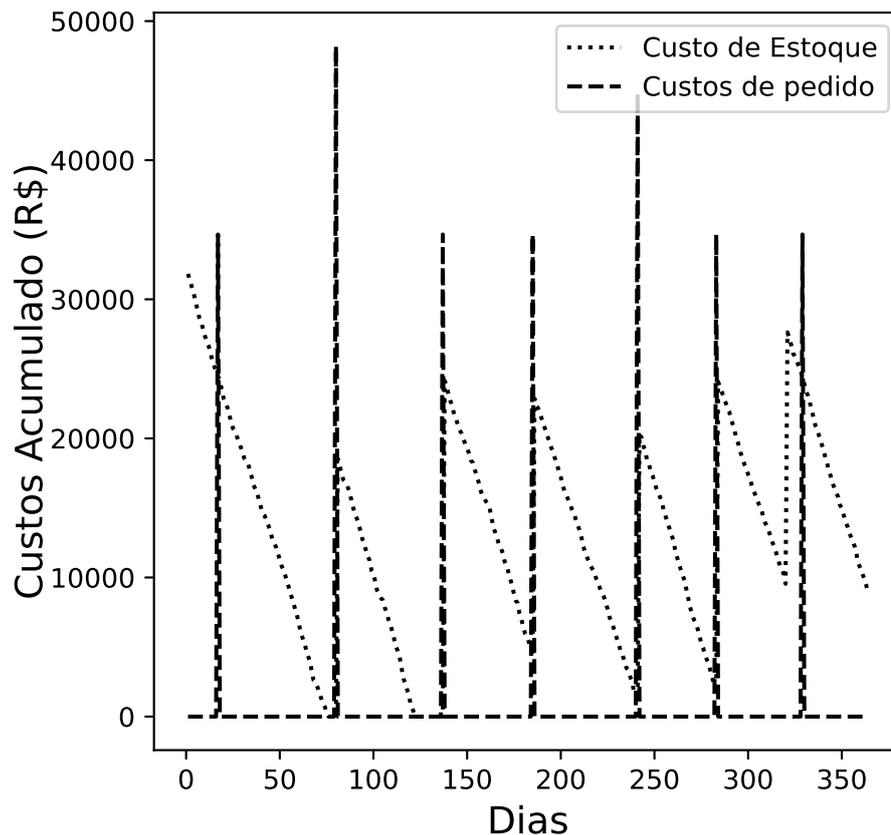


Figura 4.7: Custos de estoque e custos de pedido ao longo do tempo para o material 4 segundo a política (s,S) otimizada.
 Fonte: Autor

Ao observar a Figura 4.7, podemos ver uma redução significativa no custo despendido para realizar um pedido no tempo t . Apesar de aumentar a quantidade total de pedidos, o custo é diluído ao longo do ano impactando menos o capital disponível da empresa naquele momento.

Por fim, uma análise de sensibilidade é realizada a fim de analisarmos o impacto que a alteração no percentual de custo de armazenamento causa no custo total do produto. Pode-se observar que um aumento no percentual do custo causa grande impacto no custo total da política otimizada, o que corrobora com os resultados observados, concluindo que deve-se reduzir o tamanho do pedido e torná-lo mais frequente.

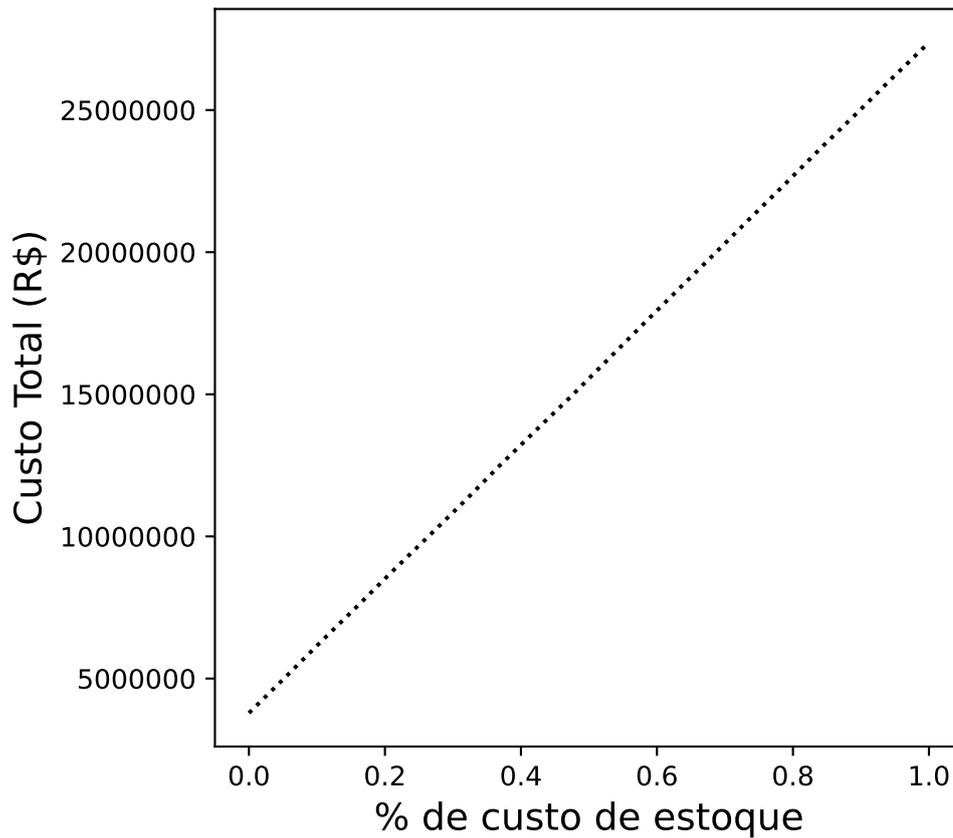


Figura 4.8: Análise de sensibilidade para o material 1.

Fonte: Autor

É possível então inferir que os custos de armazenamento são os maiores custos dentro dos custos logísticos, tornando a política de estoque com mais pedidos e menos armazenamento a política otimizada. Por fim, observa-se uma economia não apenas monetária, mas também uma redução no custo causado pela falta do produto. A política (t,s,S) acabou por ser a mais vantajosa dentre as alternativas analisadas.

Conclusão

A logística possui um papel crucial nas operações de uma indústria, tendo em seu guarda-chuva diversas áreas, como transporte, distribuição, gerenciamento de materiais e armazenagem. Dado esse fato, é essencial que as empresas adotem modelos de gestão que otimizem as políticas de estoque e que reduzam os custos, conferindo assim uma vantagem competitiva em relação às outras organizações.

O gerenciamento e controle de estoques são processos de extrema relevância em todas as dimensões da organização, desde o estratégico até o operacional, assegurando a disponibilidade de materiais no local e momento adequados. No entanto, equilibrar de forma apropriada os níveis de estoque é um desafio, uma vez que o armazenamento representa uma parcela significativa dos custos logísticos. Os gestores enfrentam o desafio de encontrar o ponto ideal entre manter produtos em quantidade suficiente para garantir a disponibilidade e evitar excessos que resultem em custos desnecessários.

O presente projeto realizou uma simulação da política de estoques de uma indústria, a fim de encontrar a política de estoque que minimizasse os custos e reduzisse a falta de produtos. Para isso foram realizadas simulações aplicando os modelos (s,S) e (t,s,S) para cinco SKUs distintos da empresa. Além das simulações, foi realizada uma análise de sensibilidade para avaliar o impacto do custo de armazenamento nos custos logísticos, considerando as duas políticas de estoque para os materiais mencionadas.

As simulações demonstraram que, ao se utilizar uma política do modelo (t,s,S) , houve uma redução nos custos totais em comparação com a utilização de uma política (s,S) . A política (t,s,S) otimizada apresentou uma redução na quantidade de produtos armazenadas e um aumento na quantidade de pedidos. Além disso, houveram significativas reduções nos custos totais da operação de gestão de estoques, uma economia de aproximadamente R\$900.000,00. Outro fato observado foi a redução na quantidade de produtos faltante, uma redução de 45% no número de produtos faltantes. A alteração no modelo de entrega,

um modelo de entregas Less than Truck Load ao invés do Full Truck Load atualmente utilizado pela organização, foi outro fator que auxiliou na redução dos custos.

A análise de sensibilidade confirmou a hipótese de que a utilização de um modelo que aumente a quantidade de pedidos otimiza os custos totais, pois os custos de armazenamento eram responsáveis por aproximadamente 95% dos custos totais.

Com isso, podemos concluir que a instituição em questão não possui uma política de estoques adequada à sua realidade, sendo necessária uma readequação para uma política mais próxima da otimizada apresentada no presente projeto. Recomenda-se para futuros projetos que aumente o número de SKUs, a fim de ser possível uma maior proximidade da realidade, tal como uma porcentagem variável de custo de estoque a depender do SKU a ser avaliado. Outro ponto a ser analisado é de que os modelos de Less than Truck Load ou Full Truck Load tenham Lead Times diferentes, também deve-se utilizar de modelo de previsão (forecasting) de demanda deverão ser aplicados no futuro.

Com isso, conclui-se que o presente projeto mostrou a importância de utilização da simulação, uma solução de alto impacto e que traz ganhos significativos para a empresa de foco do estudo. As economias obtidas para os 5 insumos estudados, da ordem de quase 1 milhão de reais, demonstram importância deste projeto para a empresa.

Referências Bibliográficas

- [Ballou, Rubenich e Bañolas 2006]BALLOU, R. H.; RUBENICH, R.; BAÑOLAS, R. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial*. 5ª edição. ed. [S.l.]: Bookman, 2006. ISBN 9788536305912.
- [Chiavenato 2010]CHIAVENATO, I. *Administração Geral e Pública*. [S.l.]: Elsevier, 2010. (Provas e Concursos). ISBN 9788535231700.
- [Ching 2010]CHING, H. Y. *Gestão de estoques na cadeia de logística integrada - SPPLY CHAIN*. [S.l.]: Atlas, 2010. ISBN 9788522460274.
- [Cárdenas-Barrón 2000]CÁRDENAS-BARRÓN, L. E. Observation on: “Economic production quantity model for items with imperfect quality” [Int. J. Production Economics 64 (2000) 59–64]. *International Journal of Production Economics*, v. 67, n. 2, p. 201, set. 2000. ISSN 09255273. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925527300000591>>.
- [Dong et al. 2023]DONG, C. et al. Logistics outsourcing: Effects of greenwashing and blockchain technology. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 170, p. 103015, fev. 2023. ISSN 13665545. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1366554523000029>>.
- [EEEP 2009]EEEP, E. M. I. E. P. *Curso Técnico em Administração-Logística de Suprimentos*. SEDUC-CE, 2009. Disponível em: <https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2011/10/administracao_logistica_de_suprimentos.pdf>.
- [Fawcett e Provost 2016]FAWCETT, T.; PROVOST, F. *Data Science Para Negócios*. Place of publication not identified: Alta Books, 2016. OCLC: 1162789445. ISBN 9788576089728.
- [FIA 2023]FIA. *Logística: entenda o que é, como funciona e importância*. jul. 2023. Disponível em: <<https://fia.com.br/blog/logistica/>>.
- [Figueiredo e Netto 2001]FIGUEIREDO, E. D. D.; NETTO, M. A. C. MODELO DE CENTRALIZAÇÃO DE ESTOQUES PARA A LOGÍSTICA DE SUPRIMENTO DA EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DA PETROBRAS. *Pes-*

- quisa Operacional*, v. 21, n. 2, p. 137–158, jul. 2001. ISSN 0101-7438. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid = S0101 – 74382001000200002&lng = pt&ptlng = pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-74382001000200002&lng=pt&ptlng=pt)>.
- [Gerenciando processos do negócio 2022]GERENCIANDO processos do negócio. fev. 2022. Disponível em: <<https://professorannibal.com.br/2022/02/22/gerenciando-processos-do-negocio/>>.
- [Gujarati]GUJARATI, D. *Econometria: Princípios, teorias e aplicações práticas*. [S.l.: s.n.].
- [GUPTA 1992]GUPTA, R. *Operations research*. Krishna Prakashan Media. v. 1, jan. 1992.
- [Importância da indústria]IMPORTÂNCIA da indústria. Disponível em: <<http://portaldaindustria.com.br/estatisticas/importancia-da-industria/>>.
- [Maiden 2020]MAIDEN, T. *How big is the logistics industry?* jan. 2020. Disponível em: <<https://www.freightwaves.com/news/how-big-is-the-logistics-industry>>.
- [Medeiros, Hoppen e Maçada 2020]MEDEIROS, M. M. d.; HOPPEN, N.; MAÇADA, A. C. G. Data science for business: benefits, challenges and opportunities. *The Bottom Line*, v. 33, n. 2, p. 149–163, jan. 2020. ISSN 0888-045X. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/BL-12-2019-0132>>.
- [Monk e Wagner 2013]MONK, E. F.; WAGNER, B. J. *Concepts in enterprise resource planning*. Fourth edition. New York: Cengage Learning, 2013. OCLC: ocn809951848. ISBN 9781111820398.
- [Mula et al. 2006]MULA, J. et al. Models for production planning under uncertainty: A review. *International Journal of Production Economics*, v. 103, n. 1, p. 271–285, set. 2006. ISSN 09255273. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0925527306000041>>.
- [Nenadál 2008]NENADÁL, J. Process performance measurement in manufacturing organizations. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 57, n. 6, p. 460–467, jul. 2008. ISSN 1741-0401. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/17410400810893392/full/html>>.
- [Parry e Graves 2008]PARRY, G.; GRAVES, A. (Ed.). *Build to order: the road to the 5-day car*. London: Springer, 2008. OCLC: ocn226976113. ISBN 9781848002241 9781848002258.
- [Peinado e Graeml 2004]PEINADO, J.; GRAEML, A. *Administração da Produção (Operações Industriais e de Serviços)*. [S.l.]: Centro Universitário Positivo – UnicenP, 2004.

- [PEREIRA 2009]PEREIRA, W. PESQUISA OPERACIONAL: FERRAMENTA PARA A COMPETITIVIDADE. *Revista Embanews*, jan. 2009.
- [Soares, Rodrigues e Moreno 2007]SOARES, L.; RODRIGUES, R.; MORENO, M. Ginga-NCL: The declarative environment of the Brazilian digital TV system. *Journal of the Brazilian Computer Society*, v. 13, n. 1, p. 37–46, 2007.
- [Total global logistics market size by region 2020]TOTAL global logistics market size by region 2020. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1069868/total-global-logistics-market-size-region/>>.
- [TOTVS 2022]TOTVS, E. *Logística de suprimentos: como funciona e benefícios*. ago. 2022. Disponível em: <<https://www.totvs.com/blog/gestao-para-rotas/logistica-de-suprimentos/>>.
- [Viana 2021]VIANA, F. *INDÚSTRIA DE BEBIDAS NÃO ALCOÓLICAS*. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste - ETENE, jan. 2021.
- [VIDAL 2009]VIDAL, J. *Importância da logística nas estratégias de distribuição das empresas e aplicação de um modelo de DRP – Distribution Requirements Planning - numa grande indústria de bebidas não-alcoólicas*. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, jan. 2009.
- [Wieland e Handfield 2013]WIELAND, A.; HANDFIELD, R. The Socially Responsible Supply Chain: An Imperative for Global Corporations. *Supply Chain Management Review*, v. 17, n. 5, p. 22–29, 2013. ISSN 1521-9747. Disponível em: <<https://research.cbs.dk/en/publications/the-socially-responsible-supply-chain-an-imperative-for-global-co>>.

Apêndice

```

import pandas as pd
import numpy as np
from google.colab import files

def c(ftl,quantity):
    preco_kg = 1.354
    pallet_size = 2500

    ftl_cost = ftl*preco_kg
    #pallet_cost = (pallet_size * ftl_cost)/ftl

    pallet_cost = (pallet_size*preco_kg)
    num_cars_int = quantity//ftl
    quantity_rest = quantity%ftl
    quantity_rest_pallet = quantity_rest//pallet_size
    if quantity_rest_pallet%pallet_size !=0:
        quantity_rest_pallet+=1
    return round((num_cars_int * ftl_cost) + (quantity_rest_pallet*pallet_cost),2)

#Definindo função de cálculo de custo de estoque
def h(qtde,unit_price):
    if qtde < 0:
        custo_estoque = 0
    else:
        custo_estoque = qtde * unit_price * 0.5247
    return custo_estoque

#Definindo função de simulação
def simulation_formula_sS():
    #definindo os parâmetros (tempo de simulação, lead time,estoque incicial, políticas atuais)
    T = 365
    unit_price = 1.354
    ftl = 12800

    #definindo variáveis da simulação produto 8864
    holding_costs = 0
    order_costs = 0
    total_cost = 0
    missing_count = 0
    t1 = 0
    order = 0
    order_count = 0
    quantity_miss = 0

    #definindo tabela do dataframe do output
    Resultados_sS = pd.DataFrame(columns = ['Política', 'Custo Total', 'Custo Estoque', 'Custo Pedido', 'N Pedidos', 'N Faltas'])

    #início do loop para combinação das diferentes políticas no tempo T
    for s_max in range(60100,150000,100):

        for s_min in range(6000,60000,100):

            hct = []
            oct = []
            tc = []
            tp = []
            tf = []
            lc = []

            for i in range (10):

                holding_costs = 0
                order_costs = 0
                total_cost = 0
                missing_count = 0
                t1 = 0
                order = 0
                order_count = 0
                quantity_miss = 0
                stock = 44800

                #simulando para 365 dias
                for i in range(1,T):

                    holding_costs += h(stock,unit_price)

                #gerando demanda estocástica de produção

```

```

demand = round(np.random.normal(603,183),0)

#projetando estoque
stock -= demand

#falta de estoque
if stock < 0:
    quantity_miss += stock - demand
    missing_count += 1
    stock = 0

#L = 5

#simulando a chegada do material em estoque
if i == t1:
    t1 = 0
    stock += order
    order = 0

if stock < s_min and order == 0:
    #gerando lead time estocástico
    L = round(np.random.normal(40,10.0),0)
    t1 = i + L
    order = s_max - stock
    order_costs += c(ftl,order)
    order_count +=1

total_cost = holding_costs + order_costs
hct.append(holding_costs)
oct.append(order_costs)
tc.append(total_cost)
tp.append(order_count)
tf.append(missing_count)
lc.append(quantity_miss)

#Inserindo dados resultantes no DataFrame
Resultados_sS = Resultados_sS.append({'Política': [s_min,s_max],
                                     'Custo Total': sum(tc)/len(tc),
                                     'Custo Estoque': sum(hct)/len(hct),
                                     'Custo Pedido': sum(oct)/len(oct),
                                     'N Pedidos': sum(tp)/len(tp),
                                     'N Faltas':sum(tf)/len(tf),
                                     'qtd Faltado':sum(lc)/len(lc)},
                                     ignore_index=True)

#exportar excel com dados da simulação
output3 = Resultados_sS.to_excel('Resultados_sS_3.xlsx')
files.download('Resultados_sS_3.xlsx')

return output3
return Resultados_sS

#chamada do programa
simulation_formula_sS()

```



```

import pandas as pd
import numpy as np
from google.colab import files

def c(ftl,quantity):
    preco_kg = 1.354
    pallet_size = 2500

    ftl_cost = ftl*preco_kg

    pallet_cost = (pallet_size*preco_kg)
    num_cars_int = quantity//ftl
    quantity_rest = quantity%ftl
    quantity_rest_pallet = quantity_rest//pallet_size
    if quantity_rest_pallet%pallet_size !=0:
        quantity_rest_pallet+=1
    return round((num_cars_int * ftl_cost) + (quantity_rest_pallet*pallet_cost),2)

#Definindo função de cálculo de custo de estoque
def h(quantity,unit_price):
    if quantity < 0:
        stock_cost = 0
    else:
        stock_cost = quantity * unit_price * 0.5247
    return stock_cost

```

Estratégia Baseada no ritmo de consumo do estoque em dias e no ponto de pedido (t,s,S)

```

#Definindo função de simulação
def simulation_formula_tsS():
    #definindo os parâmetros (tempo de simulação, lead time,estoque inicial, políticas atuais)
    T = 365
    unit_price = 1.354
    ftl = 12800

    #definindo variáveis da simulação produto 8864
    holding_costs = 0
    order_costs = 0
    total_cost = 0
    missing_count = 0
    t1 = 0
    t = 0
    order = 0
    order_count = 0
    quantity_miss = 0

    #definindo vetores para combinação de políticas
    smax = list(range(60000,80000,100))
    smin = list(range(35000,62000,100))
    t_temp = list(range(40,55,1))

    #definindo tabela do dataframe do output
    Resultados_tsS = pd.DataFrame(columns = ['Política','Custo Total','Custo Estoque','Custo Pedido','N Pedidos','N Faltas'])

    #início do loop para combinação das diferentes políticas no tempo T
    for s_max in smax:
        for s_min in smin:
            for temp in t_temp :
                hct = []
                oct = []
                tc = []
                tp = []
                tf = []
                lc = []

                for i in range(5):
                    total_cost = 0
                    order_costs = 0
                    stock = 44800 #estoque inicial
                    missing_count = 0
                    order_count = 0
                    order = 0
                    holding_costs = 0
                    quantity_miss = 0

```

```

#Simula a dinâmica do estoque para o período de um ano
for i in range(1,T):

    holding_costs += h(stock,unit_price)

    #gerando demanda estocástica de produção
    demand = round(np.random.normal(603,183),0)

    #projetando estoque
    stock -= demand

    #falta de estoque
    if stock < 0:
        quantity_miss += stock - demand
        missing_count += 1
        stock = 0

    #simulando a chegada do material em estoque
    if i == t1 and order > 0:
        t1 = 0
        stock += order
        order = 0

    #simulando pedido baseado no ponto de pedido (s_min)
    if stock < s_min and order == 0:
        L = round(np.random.normal(40,9.95),0)
        t1 = i + L
        order = s_max - stock
        order_costs += c(ftl,order)
        order_count +=1

    #simulando pedido baseado no ritmo de pedidos (t)
    if t == temp and order == 0:
        #gerando lead time estocástico
        L = round(np.random.normal(40,9.95),0)
        t1 = i + L
        t = 0
        order = s_max - stock
        order_costs += c(ftl,order)
        order_count +=1

    #atualiza o contador de tempo
    t += 1

total_cost = holding_costs + order_costs

hct.append(holding_costs)
oct.append(order_costs)
tc.append(total_cost)
tp.append(order_count)
tf.append(missing_count)
lc.append(quantity_miss)

#Inserindo dados resultantes no DataFrame
Resultados_tsS = Resultados_tsS.append({'Política': [temp,s_min,s_max],
                                       'Custo Total': sum(tc)/len(tc),
                                       'Custo Estoque': sum(hct)/len(hct),
                                       'Custo Pedido': sum(oct)/len(oct),
                                       'N Pedidos': sum(tp)/len(tp),
                                       'N Faltas':sum(tf)/len(tf),
                                       'Qtd Faltando': sum(lc)/len(lc)},
                                       ignore_index=True)

#exportar excel com dados da simulação
output = Resultados_tsS.to_excel('Resultados_tsS_3.xlsx')

files.download('Resultados_tsS_3.xlsx')
return output
return Resultados_tsS

#chamada da função de simulação
simulation_formula_tsS()

```